

LAJIKKEEN JA KORJUUAJANKOHDAN VAIKUTUS MAISSISÄILÖREHUN MÄÄRÄÄN JA LAATUUN

Anniina Liimatainen

Maisterintutkielma

Kasvinviljelytiede

Helsingin yliopisto

Maataloustieteiden osasto

2020

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty		Osasto — Sektion — Department	
Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta		Maataloustieteiden osasto	
Tekijä — Författare — Author			
Anniina Liimatainen			
Työn nimi — Arbetets titel — Title			
Lajikkeen ja korjuuajankohdan vaikutus maissisäilörehun määrään ja laatuun			
Oppiaine — Läroämne — Subject			
Kasvinviljelytiede			
Työn laji — Arbetets art — Level		Aika — Datum — Month and year	
Maisterintutkielma		Toukokuu 2020	
		Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages	
		43 sivua	
Tiivistelmä – Referent – Abstract			
<p>Suomessa voidaan tuottaa tuleentumattomana korjattavaa maissia (<i>Zea mays</i> L.) nautakarjan karkearehuksi. Viljelijöiden kiinnostus rehumaissin viljelyä kohtaan on kasvanut sekä Suomessa että koko Pohjois-Euroopassa 2000-luvun aikana, sillä maissista voidaan korjata määrältään moninkertainen verrattuna muihin yksivuotisiin rehukasveihin ja säilörehunurmeen, ja sillä uusia maissilajikkeita voidaan viljellä entistä pohjoisemmissa olosuhteissa. Kiinnostuksen lisääntyminen näkyy maissin viljelyalassa, joka on suurentunut Suomessa voimakkaasti 2000-luvun aikana, vaikka ala onkin edelleen pieni. Alan ennustetaan kasvavan tulevaisuudessa entisestään ilmaston lämpenemisen vuoksi. Maisinviljelyä ei kuitenkaan ole tutkittu laajalti Suomessa, joten tutkimustiedolle on suuri tarve.</p> <p>Tämän maisterintutkielman tavoite oli selvittää, miten lajike ja sadon korjuuajankohta vaikuttavat maissisäilörehun määrään (tuore- ja kuiva-ainesato) ja laatuun (tärkkelys-, neutraalidetergentti-kuitu- (NDF), raakavalkuais- (RV) ja tuhkapitoisuus). Kenttäkoe tehtiin Helsingin Viikissä kasvukauden 2019 aikana. Koe oli osaruutukoe, jossa pääruututekijänä oli korjuuajankohta (101, 123 ja 144 vrk kuluttua kylvöstä) ja osaruututekijänä lajike (4 kpl). Kahdelta jalostajalta valittiin kaksi lajiketta, jotka olivat aikaisuudeltaan, FAO-arvoltaan, erilaisia.</p> <p>Kuiva-ainesato oli sitä runsaampi, mitä myöhemmin sato korjattiin, mutta tuoresato niukentui korjuukertojen myötä. Sadon tärkkelyspitoisuus suureni ja NDF-, RV- ja tuhkapitoisuudet pieneneivät, kun sato korjattiin myöhemmin. Sato oli sekä runsain että laadukkain, kun se korjattiin 144 vrk kuluttua kylvöstä, jolloin kasvusto oli taikina- tai jauhotuleentunut (lajikkeesta riippuen).</p> <p>Lajike vaikutti vain sadon laatuun. MAS 08.F sisälsi vähiten tärkkelystä ja eniten NDF:ää, joten sen ruokinnallinen laatu oli heikoin. Lajikkeiden väliset erot eivät vastanneet ennakko-odotuksia tai muiden tutkimusten tuloksia, joten MAS 08.F:n eroavuuden ei voitu olettaa johtuvan kyseisen lajikkeen aikaisuudesta (FAO-arvosta).</p> <p>Johtopäätöksenä voidaan todeta, että maissista voidaan korjata Etelä-Suomessa runsas ja laadukas säilörehusato. Optimaalisin korjuuajankohta on silloin, kun kasvusto on saavuttanut taikina- tai jauhotuleentumisen tai pian ensimmäisten yöpakkasten jälkeen.</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords			
maissi, <i>Zea mays</i> L., maissisäilörehu, maissin viljely, rehun laatu, korjuuajankohta, lajike-ero			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited			
Maataloustieteiden maisteriohjelma, maataloustieteiden osasto			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information			

HELSINGIN YLIOPISTO — HELSINGFORS UNIVERSITET — UNIVERSITY OF HELSINKI

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty		Osasto — Sektion — Department	
Faculty of Agriculture and Forestry		Department of Agricultural Sciences	
Tekijä — Författare — Author			
Anniina Liimatainen			
Työn nimi — Arbetets titel — Title			
Effects of cultivar and harvest time on forage maize yield quantity and quality			
Oppiaine — Läroämne — Subject			
Crop Science			
Työn laji — Arbetets art — Level		Aika — Datum — Month and year	
Master's thesis		May 2020	
		Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages	
		43 pages	
Tiivistelmä - Referat – Abstract			
<p>Maize (<i>Zea mays</i> L.) that is used as silage for cattle may be produced in Finland when harvested as whole-crop silage before full maturation. Farmers have become more interested in silage maize cultivation both in Finland and the Northern Europe in 2000's, because maize can produce bigger yields compared to other annual feed crops and grasses, and because new maize cultivars can be cultivated better in Northern European conditions. The grown interest can be seen in maize cultivation area that has grown rapidly in Finland in 2000's, though the area is still small. The area is predicted to grow even more in future due to climate change. Still, maize cultivation hasn't yet been researched widely in Finland.</p> <p>The aim of this master's thesis is to find out, how cultivar and harvest time effect on maize silage quantity (fresh and dry matter (DM) yield) and quality (starch, neutral detergent fiber (NDF), crude protein (CP) and ash contents). Field trial was done in Helsinki in 2019. It followed split-plot design: main-plot was harvest time (101, 123 and 144 days after sowing) and sub-plot was cultivar (4 cultivars). Two cultivars with different FAO-values were used from two breeding companies.</p> <p>DM-yield was higher the later the harvest time was, but fresh yield lowered between harvest times. Starch content of the yield increased, but NDF, CP and ash contents decreased as the harvest time became later. This means that the yield was biggest and had highest quality, when it was harvested 144 DAS (dough or dent maturity, depending on cultivar).</p> <p>Cultivar influenced yield quality. Yield of cultivar MAS 08.F included least starch and most NDF, which means it produced yields with lowest feed quality. Differences between cultivars were not consistent with other articles, thus differences were not necessarily caused by cultivar earliness (FAO ranking).</p> <p>It can be concluded that silage maize yields high in quantity and quality can be harvested in Southern Finland. The most suitable harvest time is when dough or dent maturity is reached or just after the first night frosts.</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords			
Forage maize, <i>Zea mays</i> L., maize silage, whole-crop maize, harvest time, cultivar			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited			
Master's Programme in Agricultural Sciences, Department of Agricultural Sciences			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information			

Sisälllys

LYHENTEET	5
1 JOHDANTO	6
2 MAISSI VILJELYKASVINA	7
2.1 Taksonomia ja morfologia	7
2.2 Kasvu ja kehitys.....	8
2.3 Viljelyolosuhteet	10
3 KEHITYSRYTMIN JA LAJIKKEEN VAIKUTUKSET	11
3.1 Sadon määrä	11
3.2 Sadon laatu.....	12
3 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET	12
4 AINEISTO JA MENETELMÄT	13
4.1 Kasvimateriaali ja koejärjestelyt	13
4.2 Kasvukauden aikaiset havainnot	14
4.3 Näytteiden käsittely ja analysointi.....	14
4.3.1 Keruu ja käsittely	14
4.3.2. Sato ja KA-pitoisuus	16
4.3.3 Kemialliset analyysit.....	16
4.4 Tilastolliset analyysit.....	18
5 TULOKSET	19
5.1 Kasvu ja kehitys.....	19
5.2 Sato ja satokomponentit	21
5.3 Rehun laatuominaisuudet	26
5.4 Sääolosuhteet	28
6 TULOSTEN TARKASTELU	30
6.1 Sato ja korjuuajankohta	30
6.2 Rehun laatu koheni korjuukertojen myötä.....	31
6.3 Lajikkeen aikaisuus ei vaikuttanut sadon määrään	33
6.4. Lajike-erot rehun laadussa eivät vastanneet hypoteesia	34
6.5 Mahdolliset virhelähteet	36
7 JOHTOPÄÄTÖKSET	36
8 KIITOKSET	37
9 LÄHTEET	38
LIITE 1: LAJIKKEIDEN KASVU- JA KEHITYSRYTMI BBCH-ASTEIKOLLA KUVATTUNA	43

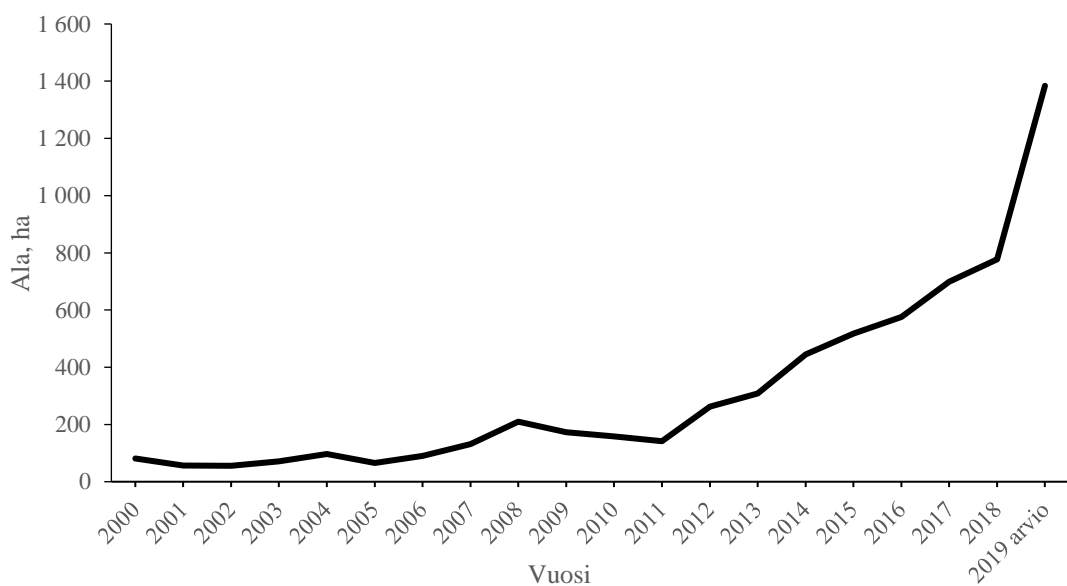
LYHENTEET

KA	Kuiva-aine
NDF	Neutraalidetergenttikuitu
Prim. KA	Primäärinen kuiva-aine
RV	Raakavalkuainen
Sek. KA	Sekundäärinen kuiva-aine
vrk kylvöstä	Vuorokautta kylvöstä

1 JOHDANTO

Maissi (*Zea mays* L.) on yksi maailman yleisimmistä ja tärkeimmistä viljelykasveista (FAO 2019). Elintarvike-, bioenergia- ja biopolttoainekäytön lisäksi sitä hyödynnetään laajalti nautakarjan karkearehuna suuren energiapitoisuuden ja hyvän ruokinnallisen laadun vuoksi (Argillier ym. 1995, Johnson ym. 1999, Jensen ym. 2005, Opsi ym. 2013). Rehuksi käytetään joko jyväsato tai tuleentumattomana korjattava koko kasvusto, joista jälkimmäistä voidaan tuottaa myös Suomen olosuhteissa (Pulli ym. 1979, FAO 2019). Tuleentumattomana korjattavasta maissista saadaan huomattavasti runsaampi kuiva-ainesato (KA-sato) kuin muista yksivuotisista rehukasveista tai säilörehunurmesta, minkä vuoksi viljelijöiden kiinnostus maissia kohtaan on kasvanut (Struik 1983, Mussadiq 2012, Seleiman ym. 2017).

Vaikka rehuksi käytettävän maissin viljelyala Suomessa toistaiseksi pieni, se on kasvanut voimakkaasti 2000-luvulla (Kuva 1). Ala oli vuonna 2019 9 kertaa suurempi kuin vuonna 2010 ja 17 kertaa suurempi kuin vuonna 2000 (Kuva 1). Maissinviljely on yleistynyt myös muualla Pohjois-Euroopassa, sillä markkinoille on tullut uusia, entistä aikaisemmin tuleentuvia ja aiempaa paremmin Pohjois-Euroopan ilmastoon soveltuvia rehumaisilajikkeita (Mussadiq 2012, Krizsan ym. 2014). Elsgaard ym. (2012) ovat arvioineet, että Euroopan maissiala kasvaa entisestään ilmaston lämpenemisen vuoksi.



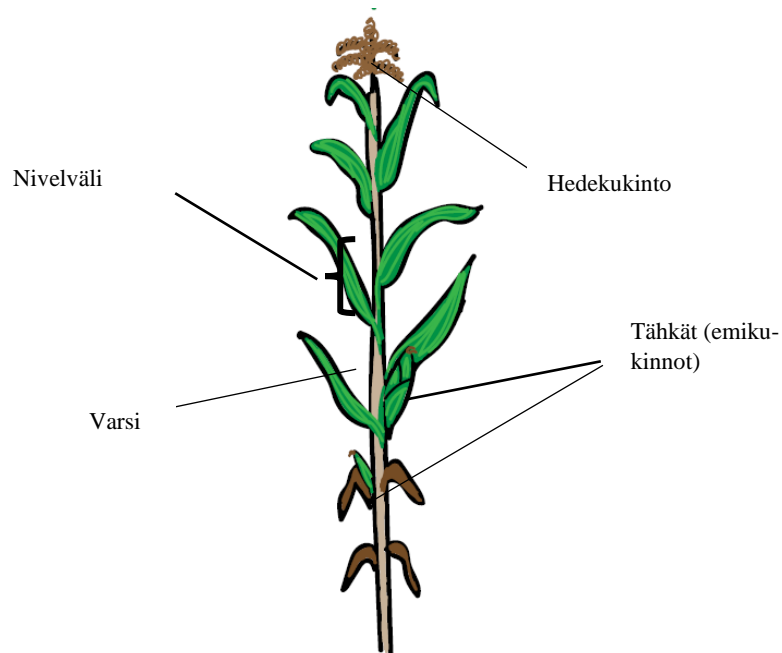
Kuva 1. Rehumaisin viljelyala Suomessa vuosina 2000–2019 (Luke 2019).

Maissinviljelyä on tutkittu Suomessa jo 1930- ja 1970–1980 -luvuilla (Pulli ym. 1979), mutta tutkimusta Suomen olosuhteisiin sopivista uusista maissilajikkeista ja viljelytekniikoista on tehty toistaiseksi vähän. Tässä maisterintutkielmassa selvitetään, miten korjuuajankohta ja lajike vaikuttavat maissirehusadon määrään ja laatuun, kun sato korjataan tuleentumattomana. Tutkielma kuuluu Helsingin yliopiston ja Luonnonvarakeskuksen Tulevaisuuden kestävätkarkearehuvalinnat -hankkeeseen (TuKeVa), jonka yritysosapuo-
lia ovat Berner Oy, Valio Oy, Naturcom Oy ja Eastman Chemical Company. Yksi hankkeen tavoitteista on tuottaa Suomen olosuhteisiin soveltuvia maissin viljelysuosituksia.

2 MAISSI VILJELYKASVINA

2.1 Taksonomia ja morfologia

Maissi on heinäkasveihin (*Poaceae*-heimo) kuuluva yksivuotinen viljelykasvi, joka on kotoisin Väli-Amerikan trooppisista olosuhteista (Berger 1962). Yksittäinen kasvi koostuu keskimäärin 3 cm paksuisesta päävarresta, jonka noin neljässätoista nivelvälissä on jokaisessa yksi lehti (Berger 1962). Maissi voi kasvaa jopa kuusimetriseksi, mutta sen korkeus on keskimäärin 2–3 metriä (Berger 1962, International Starch Institute 2011). Maissi voi kasvattaa sivuversoja, joiden määrä riippuu lajikkeesta sekä kasvuolosuhteista (Berger 1962).



Kuva 2. Maissin kasvinosat (kuva: Anniina Liimatainen).

Maissi on yksineuvoinen ja yksikotinen kasvi (Cheng & Pareddy 1994). Sen kukinnot ovat varren päässä sijaitseva hedekukinto sekä lehtihangassa sijaitseva emikukinto (tähkä), joita voi olla yksi tai useampia kasvia kohden (Kuva 2) (Cheng & Pareddy 1994). Hedekukinto on haaroittunut röyhy, jossa on keskimäärin 10 sivuhaaraa (Cheng & Pareddy 1994). Tähkä on muuntunut hankaverso, joka tulee vähitellen esiin sitä peittävien kuorilehtien alta (Berger 1962). Ennen varsinaisen tähkän esiintuloa kuorilehtien päästä kasvaa ulos karvamaisia emin vartaloita (engl. *silk*) (Berger 1962). Maissin tähkien määrä riippuu lajikkeesta ja kasvukauden olosuhteista (Berger 1962). Jos kasviin kehittyy useita tähkiä, ylin tähkä (päätähkä) kasvaa muita tähkiä suuremmaksi (Mussadiq 2012).

2.2 Kasvu ja kehitys

Maissin taimettuminen alkaa, kun ensimmäiset sen lehdistä tulevat näkyviin maan pinnalle. Kasvullisessa vaiheessa maissin kasvuastetta kuvataan ensin auenneiden lehtien määrällä ja varren pituuskasvun alettua nivelvälien lukumäärällä (Kuva 3) (Meier 2001). Maissin kukinnot erilaistuvat kasvullisen vaiheen aikana kärkikasvu- ja hankaversomeristeemeistä (Cheng & Pareddy 1994). Maissin kukinta alkaa, kun hedekukinto työntyy ulos ja varistaa siitepölyä alempana sijaitseville kasvinosille (Cheng & Pareddy 1994). Seuraava, keskimäärin 9–12 vrk kukinnan jälkeen alkava kehitysvaihe on silkkituleentuminen, jolloin emin vartalot tulevat näkyviin tähkien kärjistä (Pulli ym. 1979, Cheng & Pareddy 1994). Silkkituleentumisen aikana siitepöly kulkee tähkien kuorilehtien sisälle emin vartaloita pitkin ja pölyttää emikukat (Berger 1962). Samalla maissi siirtyy kasvullisesta kasvuvaiheesta suvulliseen kasvuvaiheeseen (OMAFRA 2017).

Onnistuneen pölytyksen jälkeen tähkään tai tähkiin alkaa kehittyä jyviä. Jyväntäyttymissen ja tuleentumisen aikana jyviin kerääntyy tärkkelystä, minkä vuoksi jyvät kovettuvat ja niiden kuiva-ainepitoisuus nousee (Wiersma ym. 1993, Scanlon & Takacs 2009). Jyvien kehitykseen kuuluu OMAFRA:n (2017) mukaan kuusi eri vaihetta (Kuva 3). Ensimmäistä vaihetta, silkkituleentumista (R1), seuraa rakkulatuleentuminen (R2), jonka aikana emin vartalot kuivuvat, jyvät ovat vaaleita ja kirkkaan nesteen täyttämiä. Maitotuleentumisvaiheessa (R3) jyvien sisältämä neste on maitomaisen valkoista. Taikinatuleentumis-

vaiheessa (R4) jyvät kiinteytyvät mutta ovat edelleen pehmeitä. Jauhotuleentumisvaiheessa (R5) jyvät kovettuvat ja sitä seuraavassa täystuleentumisvaiheessa (R6) jyvät ovat täysin kovia ja kuroutuvat tyvestään irti tähkästä (OMAFRA 2017).

Jyvät muuttuvat keltaisiksi tuleentumisen viimeisissä vaiheissa. Taikinatuleentuneiden jyvien yläreuna muuttuu keltaiseksi ja jyvään syntyy vertikaalinen raja keltaisen ja valkoisen/vaalean keltaisen värin välille (Crookston & Curle 1988). Rajaa kutsutaan maitorajaksi (engl. *milk line*). Maitoraja siirtyy vähitellen kohti jyvän tyveä siten, että se on taikinatuleentumisvaiheessa jyvän yläreunan ja keskikohdan puolivälissä ja jauhotuleentumisvaiheessa jyvän puolivälissä (Crookston & Curle 1988). Täystuleentumisvaiheessa maitoraja on edennyt tyveen saakka, ja jyvä on kokonaan keltainen (Crookston & Curle 1988). Maitorajaa voidaan käyttää apuna maissin kehitysvaiheen tunnistamisessa ja optimaalisen korjuuajankohdan määrittämisessä.



BBCH	Lehtien kehitys	Varren kasvu	Kukintojen kehitys	Kukinta	Jyvätäyttyminen	Tuleentuminen			Ränssistyminen
	10 - 19	30–39	51–59	61–69	71–79	83–89			97–99
Tuleentuminen				R1	R2	R3	R4	R5	R6

Kuva 3. Maissin kasvuvaiheet BBCH-asteikolla (Meier 2001) ja tuleentumisen vaiheet OMAFRA (2017) mukaan (Kuva: Anniina Liimatainen).

2.3 Viljelyolosuhteet

Maissi on alun perin trooppinen C4-kasveihin kuuluva viljelykasvi, minkä vuoksi se sopii parhaiten kasvuolosuhteisiin, joissa on lyhyt (noin 10 h) päivä ja joissa vuorokauden keskilämpötila on vähintään 15 °C (Berger 1962, Hunter ym. 1977, Struik 1983, Sage 2004, FAO 2019). Jos vuorokauden keskilämpötila on alle +10–15 °C, maissia voidaan viljellä tuleentumattomana korjattavaksi rehukseksi (Struik 1983, FAO 2019). Maissi on herkkä kylmyydelle, jota esiintyy useimmiten kasvukauden alku- ja loppuvaiheissa (Stamp 1985, FAO 2019). Maissin varren kasvu heikkenee ja sen lehtiala pienenee, jos vuorokauden keskilämpötila on alle +10–15°C (Stamp 1985). Halla on erityisen haitallista, sillä se vioittaa lehtiä ja kärkikasvupistettä kasvukauden alkuvaiheessa ja aiheuttaa kasvukauden loppuvaiheessa lehtien nekroosia, joka vähentää kasvin yhteyttämistä ja heikentää jyvien täyttymistä (Peter ym. 2009, OMAFRA 2017). Maissi tarvitsee kasvaakseen runsaasti vettä ja kärsii kuivuudesta etenkin kukinnan aikaan, jolloin veden puute voi vähentää jyvien määrää (Berger 1962, FAO 2019). Myös peltomaan liiallinen märkyys on haitallista, sillä se vähentää maissin kasvua ja sadontuottoa heikentyneen veden ja ravinteiden oton vuoksi (Mason ym. 1987).

Maissi on Suomessa soveltuvuusalueensa äärimmäisellä pohjoisrajalla tai sen ulkopuolella (Salo & Huuskonen 2012). Ilmastonmuutos voi kuitenkin parantaa maissin viljelyedellytyksiä, sillä ilmaston lämpeneminen pidentää kasvukautta ja nostaa sen keskilämpötilaa Suomessa (Peltonen-Sainio ym. 2009). Lisäksi tehoisaa lämpösummaa kertyy tulevaisuudessa entistä enemmän ja yöpakkasista tulee nykyistä harvinaisempia (Peltonen-Sainio ym. 2009). Maissin viljelyalan onkin ennustettu kasvavan Suomessa merkittävästi 2100-lukuun mennessä (Peltonen-Sainio ym. 2009).

3 KEHITYSRYTMIN JA LAJIKKEEN VAIKUTUKSET

3.1 Sadon määrä

Tuleentumattomana rehuksi käytettävä maissikasvusto korjataan kerran kasvukaudessa, tyypillisesti taikina- tai jauhotuleentumisvaiheessa ja siitä korjataan merkittävästi runsaampi sato kuin muista yksivuotisista rehukasveista tai säilörehunurmesta (Filya 2004, Mussadiq 2012, Opsi ym. 2013). Sadon määrää kuvataan korjatun kuiva-aineen massana pinta-alaa kohden, ja tyypillisesti sen yksikkö on KA tn/ha (Filya 2004). Runsaan KA-sadon tuottavan maissilajikkeen kasvusto on korkea, kasvien lehtiala on suuri ja kasveissa on ennen kaikkea runsaasti tähkämassaa (Pinter 1985, Johnson ym. 1999). Tähkämassan suuruuteen vaikuttavat tähkien lukumäärä ja niiden kehitysvaihe, sillä tähkien massa suurenee kehityksen myötä (Lynch ym. 2013). Kun tähkämassa suurenee, sadon KA-pitoisuus suurenee ja siten KA-sadosta tulee runsaampi (Lynch ym. 2012, Opsi ym. 2013).

Maissirehusadon runsaus riippuu maissin kehitysrytmistä, johon vaikuttaa lajikkeen aikaisuus. Aikaisuutta kuvataan FAO-asteikolla, jossa arvo 100 kuvaa aikaisinta ja 990 myöhäisintä lajiketta (Lee & Tracy 2009). Pohjois-Euroopassa viljellään aikaisia rehu- maissilajikkeita (tyypillisesti FAO 180–240), jotta tuleentuminen ehtisi mahdollisimman pitkälle sadonkorjuuseen mennessä (Hetta ym. 2012, Mussadiq 2012, Seleiman ym. 2017). Aikaisemmat lajikkeet ovat yleensä pidemmälle kehittyneitä ja runsaamman KA-sadon tuottavia verrattuna myöhäisempiin lajikkeisiin, jos lajikkeet korjataan samaan aikaan aikaisessa vaiheessa, esimerkiksi taikinatuleentumisvaiheessa (Hetta ym. 2012, Mussadiq 2012). Myöhäiset lajikkeet kykenevät kuitenkin tuottamaan enemmän varsi- ja lehtimassaa ja runsaamman KA-sadon, jos kasvukausi on pidempi ja korjuuajankohta myöhäisempi (>150 vrk kuluttua kylvöstä) (Argillier ym. 1995, Hetta ym. 2012). Tämä johtuu siitä, että myöhäisten lajikkeiden kasvullinen vaihe kestää pidempään ja ne tuottavat siksi enemmän lehtimassaa (Berger 1962). Toisaalta pelkästään runsas KA-sato ei ole välttämättä tavoiteltavaa, sillä se voi kertoa Argillierin ym. (1995) ja Lynchin ym. (2012) mukaan siitä, että rehu sisältää paljon varsi- ja lehtimassaa ja on siksi heikosti sulavaa.

3.2 Sadon laatu

Rehumaissin keskeinen lajikeominaisuus runsaan biomassatuotannon ja aikaisuuden ohella on sen ruokinnallinen laatu (Pinter 1985, Argillier ym. 1995). Laatuja kuvataan tyypillisesti rehun tärkkelys-, sokeri-, raakavalkuais- (RV), tuhka- ja neutraalidetergenttikuitupitoisuudella (NDF). Täyttyviin jyviin kertyy tuleentumisen aikana tärkkelystä; amyloosia ja amylopektiiniä (Struik 1983, Wiersma ym. 1993). Tämän vuoksi tähkien massa suurenee, ja rehusta tulee entistä tärkkelyspitoisempaa, minkä lisäksi rehun NDF-pitoisuus pienenee ja rehun sulavuus paranee (Wiersma ym. 1993, Johnson ym. 1999). NDF:n väheneminen johtuu siitä, että suurin osa NDF:stä sijaitsee maissin varressa, ja varren massan osuus koko kasvin massasta pienenee, kun tähkien osuus suurenee (Argillier ym. 1993). Myös rehun RV- ja tuhkapitoisuudet pienenevät, kun tuleentuminen etenee (Johnson ym. 1999). Pieneneminen johtuu siitä, että suurin osa RV:sta ja tuhkasta sijaitsee varressa ja lehdissä, joiden massan osuus koko kasvin massasta pienenee tuleentumisen edetessä ja siitä, että samalla varren RV-pitoisuus pienenee (Lynch ym. 2013).

Johnsonin ym. (1999) mukaan rehun laatu kohenee voimakkaimmin tuleentumisen alkuvaiheessa. Korjuu jo rakkula- tai maitotuleentumisvaiheessa ei kuitenkaan ole suositeltavaa, sillä tällöin rehu sisältää paljon NDF:ää ja vähän tärkkelystä (Wiersma ym. 1993, Bal ym. 1997). Filyan (2004) tutkimuksessa kasvuston korjuu tuleentumisen alkuvaiheissa heikensi myös rehun säilyvyyttä silloin. Wiersman ym. (1993) ja Phippsin (2000) mukaan rehumaissikasvusto kannattaa korjata silloin, kun sen KA-pitoisuus on ylittänyt 30 prosenttia ja se on jauhotuleentunut (Wiersma ym. 1993, Johnson ym. 1999, Phipps ym. 2000). Pohjoismaissa maissirehu korjataan tyypillisesti taikina- tai jauhotuleentumisvaiheessa kasvukauden lyhyiden vuoksi (Hetta ym. 2012, Mussadiq 2012).

3 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, vaikuttavatko lajike (etenkin lajikkeen aikaisuus) ja korjuuajankohta tuleentumattomana korjattavan rehumaissisadon määrään sekä laatuun, ja jos ne vaikuttavat, millaisia vaikutukset ovat. Samalla tutkittiin, onko lajikkeella ja korjuuajankohdalla yhdysvaikutuksia sadon määrään ja/tai laatuun.

Nollahypoteesit:

- i. Lajike ei vaikuta sadon määrään tai laatuun
- ii. Korjuuajankohta ei vaikuta sadon määrään tai laatuun
- iii. Lajikkeella ja korjuuajankohdalla ei ole yhdysvaikutusta sadon määrään tai laatuun

Hypoteesit:

- i. Lajike vaikuttaa sadon määrään ja laatuun
- ii. Korjuuajankohta vaikuttaa sadon määrään ja laatuun
- iii. Lajikkeella ja korjuuajankohdalla on yhdysvaikutus sadon määrään ja laatuun

4 AINEISTO JA MENETELMÄT

4.1 Kasvimateriaali ja koejärjestelyt

Koekenttä perustettiin Helsingin yliopiston Viikin opetus- ja tutkimustilalle (60°22'N, 25°03'S, mpy 9 m). Hietaiseksi moreeniksi luokitellun lohkon pH oli 6,2 ja sen ravinnetila oli tyydyttävä (fosforia 11 mg/l ja kaliumia 150 mg/l). Lohkolla viljeltiin koetta edeltäneenä vuonna ohraa nurmen suojaviljana. Nurmi käsiteltiin 2,5 l/220 l vettä Glyphomax 480-valmisteella (glyfosaatti, 480 g/kg, DowAgro, Wilmington, Yhdysvallat) ja muokattiin lautasmuokkaimella keväällä ennen kokeen perustamista. Kenttäkoe lannoitettiin muokkauksen jälkeen seuraavasti: 150 N kg/ha (N:27; Premium Typpi 27, Belor Agro, Suomi), 20 P kg/ha (N-P;12-23, Starttiravinne, Yara, Suomi) ja 170 K kg/ha (K;24,9, Patenttikali, Ecolan Agra, Suomi).

Ruudut kylvettiin 17. toukokuuta 4-rivisellä kylvökoneella (41 HD, Samco, Irlanti) 4–5 cm syvyyteen tavoitetiheydellä 80 000–100 000 kpl/ha. Kokeessa käytettiin neljää FAO-arvoltaan poikkeavaa maissilajiketta: Pioneer (Wilmington, Yhdysvallat) P7326 (FAO 180) ja P7034 (FAO 190) sekä MAS Seeds (Haut-Mauco, Ranska) MAS 08.F (FAO 180) ja MAS 10.A (FAO 210). Yksittäinen koeruutu koostui neljästä, kymmenen metriä pitkästä kylvörivistä, joiden riviväli oli 0,75 m. Koe oli osaruutukoe (split plot design), jossa

pääruututekijä oli korjuuajankohta (3 kpl) ja osaruututekijä oli lajike (4 kpl), ja jossa oli neljä kerrannetta. Yhteensä koeruutuja oli 48.

Kylvön yhteydessä kasvustosta torjuttiin rikkakasvit 5 l/ha Stomp (pendimetaaliini 400 g/kg; BASF, Ludwigshafen, Saksa) ja kylvöriveille levitettiin biohajoava kate (Samco Degradable Film, Samco, Irlanti). Rikkakasvit torjuttiin uudelleen 26 vrk kuluttua kylvöstä tankkiseoksella, jossa oli seuraavia valmisteita: 15 g/ha Harmony 50SX (tifensulfuroni-metyyli 500 g/kg; DuPont, Wilmington, Yhdysvallat), 30 g/ha Titus WBS (rim-sulfuroni 250 g/kg; DuPont, Wilmington, Yhdysvallat) ja 0,1 l/ha Sito Plus (Berner, Suomi).

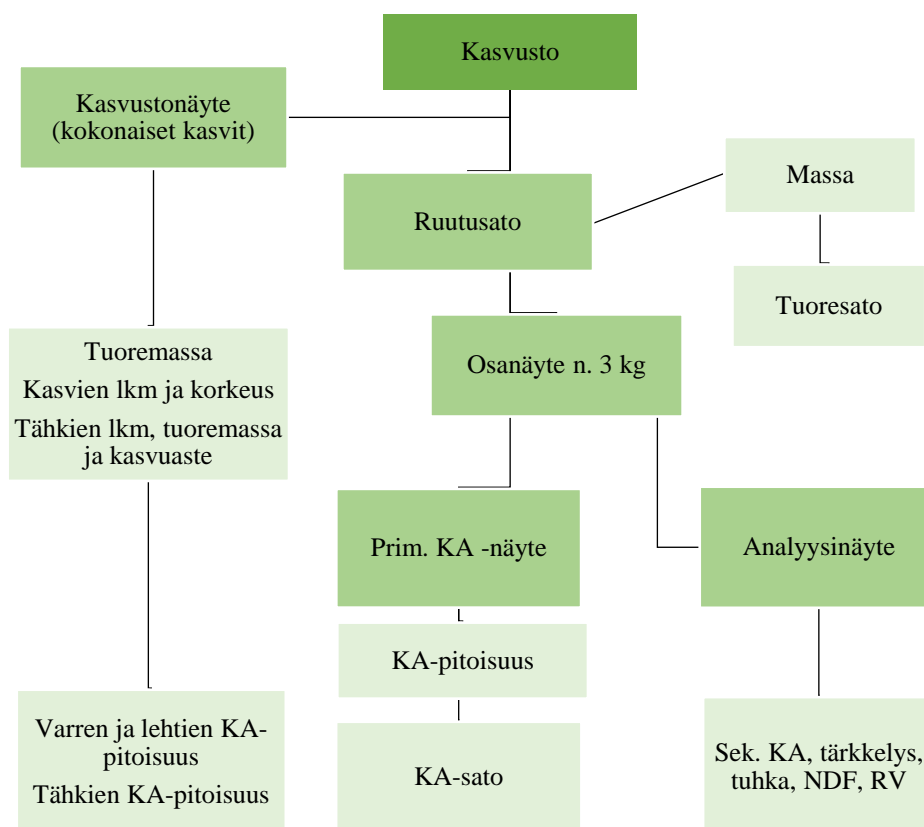
4.2 Kasvukauden aikaiset havainnot

Koeruudut arvioitiin taimettuneiksi, kun 50 % kasveista oli taimettunut. Jokaiselta koeruudulta määritettiin BBCH-kasvuaste (Meier 2001) noin 14 vrk välein taimettumisen jälkeen sadonkorjuuseen saakka.

4.3 Näytteiden käsittely ja analysointi

4.3.1 Keruu ja käsittely

Sadonkorjuu tehtiin kolmesti noin kolmen viikon välein. Ensimmäinen korjuu oli 26. elokuuta, toinen 17. syyskuuta ja kolmas 8. lokakuuta 2019 (101, 123 ja 144 vrk kuluttua kylvöstä). Jokaiselta koeruudulta leikattiin kasvustonäyte (Kuva 4) 1 m matkalta ja 15 cm korkeudelta korjuupäivänä. Näyte säilytettiin kylmiössä +5 °C:ssa käsittelyyn saakka. Näytteestä määritettiin kasvien lukumäärä, yksittäisen kasvin korkeus (cm) ja näytteen tuoremassa (kg) sekä tähkien lukumäärä, tuoremassa (g) ja kehitysaste (BBCH). Tämän jälkeen paloitellut varret, lehdet ja tähkät kuivattiin 100 °C:ssa lämpökaapissa (Memmert, Memmert GmbH, Schwabach, Saksa) noin 6–7 vuorokauden ajan. Lopuksi kuivattu näyte punnittiin ja tuloksista laskettiin tähkien ja varren sekä lehtien primääriset KA-pitoisuudet.



Kuva 4. Kasvustosta otetut näytteet ja näytteistä määritetyt sadon määrää ja laatua kuvaavat tekijät.

Ruutusadoksi korjattiin koko kasvusto noin 15 cm niittokorkeudelta kahdesta koeruudun keskimmaisesta rivistä käyttäen kelasilppuria (JF FH 1300, Kongskilde, Saksa). Kasvimassa punnittiin, minkä jälkeen ruutusadosta otettiin noin 3 kg osanäyte, josta määritettiin KA-pitoisuus (primäärinen KA) ja loppuosa säilytettiin ns. analyysinäytteenä (Kuva 4). Näyte säilytettiin näytteiden käsittelyyn saakka +5°C:ssa kylmiössä.

Primäärisen kuiva-aineen määrittämistä varten osanäytteestä otettiin kolme 70–100 g rinnakkaisnäytettä, jotka kuivattiin lämpökaapissa (Memmert, Memmert GmbH, Schwabach, Saksa) folioastioissa 100°C:ssa 2 vrk ajan. Näytteet punnittiin ennen kuivausta ja välittömästi sen jälkeen. Analyysinäytteeksi otettiin noin 1 kg kasvimassa alumiinivuokaan. Näytettä kuivattiin ensin yhden tunnin ajan 100 °C:ssa ja sen jälkeen kahden vuorokauden ajan 50 °C:ssa, minkä jälkeen se jauhettiin (sakomyllly KT-3100, Koneiteollisuus Oy, Suomi) 1 mm seulalla. Jauhettuja näytteitä säilytettiin 0,5 l muovirasioidissa huoneenlämmössä.

4.3.2. Sato ja KA-pitoisuus

Koeruudun kahden keskimmäisen rivin kasvustomassasta laskettiin tuoresato huomioiden ruutujen yli 0,5 m pitkien, tyhjen kylvörivinosien pituus ja ruudulta leikatun kasvustonäytteen massa. Tuoresato laskettiin kaavalla:

$$\text{Tuoresato, tn/ha} = \frac{\text{sadon massa, kg} + \text{kasvustonäytteen massa, kg}}{\text{satoala, m}^2 (1,5 \text{ m} * (10 \text{ m} - \text{tyhjen rivinosien pituus, m}))} * \frac{10\,000 \text{ m}^2}{1 \text{ ha}} * \frac{1}{1000}$$

KA-pitoisuus laskettiin osanäytteen tuore- ja kuivapainoista kaavalla:

$$\text{KA - pitoisuus, KA g/kg} = \frac{\text{kuivapaino, g}}{\text{tuorepaino, g}} * 1000$$

KA-sato laskettiin kaavalla:

$$\text{KA - sato, KA tn/ha} = \left(\frac{\text{KA - pitoisuus, g} \frac{\text{KA}}{\text{kg}}}{1000} \right) * \text{tuoresato, tn/ha}$$

4.3.3 Kemialliset analyysit

Sekundäärinen KA-pitoisuus määritettiin kuumentamalla 2 g jauhettua näytettä upokkaassa lämpökaapissa (Memmert, Memmert GmbH, Schwabach, Saksa) 103 °C:ssa 17 tunnin ajan. Näyte punnittiin kuivauksen jälkeen, ja tulokset laskettiin kaavalla:

$$\text{Sekundäärinen KA, KA g/kg} = \frac{\text{paino kuivauksen jälkeen, g}}{\text{paino ennen kuivausta, g}} * 1000$$

Sekundäärisen kuiva-aineen tuloksista laskettiin näytteiden kosteuspitoisuus, jota käytettiin tärkkelys-, NDF-, RV- ja tuhkapitoisuuksien laskemiseen. Kosteus laskettiin kaavalla:

$$\text{Kosteus, g/kg} = \frac{\text{paino ennen kuivausta, g} - \text{paino kuivauksen jälkeen, g}}{\text{paino ennen kuivausta, g}} * 1000$$

Sekundäärisen KA:n määrittämisen jälkeen näytteet tuhkattiin kuumentamalla niitä muhveliunissa (Heraeus Thermicon T, Heraeus, Hanau, Saksa) 600 °C:ssa 20–24 tunnin ajan. Näytteitä jäähdytettiin eksikaattorissa kahden tunnin ajan, minkä jälkeen ne punnittiin. Tuhkapitoisuus laskettiin kaavalla:

$$\text{Tuhkapitoisuus, g/kg KA} = \left(\frac{\text{paino tuhkauksen jälkeen, g} - \text{paino kuivauksen jälkeen, g}}{\text{paino kuivauksen jälkeen, g}} \right) * 1000$$

Näytteiden RV-pitoisuus (g/kg KA) määritettiin Dumas'n polttomenetelmällä (Ebeling 1986, FP828, LECO Copr., Michigan, Yhdysvallat) 250 milligrammasta jauhettua näytettä. RV-pitoisuus saatiin kertomalla tulokseksi saatu typpipitoisuus proteiinivakiolla 6,25.

Tärkkelyspitoisuus (g/kg KA) määritettiin kaupallisella tärkkelyskitillä (Total Starch Assay Kit (AA/AMG), Megazyme Ltd., Irlanti, erä 190818-5) kitin ohjeiden mukaisesti (Megazyme 2019). Noin 100 mg jauhettua näytettä uutettiin 80 % etanoliin ja inkuboitiin vesihauteessa 85 °C:ssa viisi minuuttia, minkä jälkeen näyte sentrifugoitiin (Heraeus bio-fuge Pico, DJB Labcare, Iso-Britannia) ja supernatantti kaadettiin pois. Etanolin lisääminen, sentrifugointi ja supernatantin pois kaataminen toistettiin, minkä jälkeen näytteeseen lisättiin 3 ml kitin termostabiilia α -amylaasiliuosta (laimennettu 1:30 natriumasetaatilla (100 mM, pH 5,0)) ja sitä inkuboitiin kiehuvässä vedessä 12 minuutin ajan. Näytteeseen lisättiin 0,1 ml kitin amyloglukosidaasia ja sitä inkuboitiin puoli tuntia 50 °C:ssa, minkä jälkeen se laimennettiin 6,9 ml:llä MQ-vettä. Tämän jälkeen näyte sentrifugoitiin ja siihen lisättiin 3 ml kitin reagensseistä valmistettua GOPOD-liuosta (1,5:100 puskuriliuosta (pH 7,6, sis. 0,02 % w/v natriumatsidia) ja 98,5:100 MQ-vettä, johon liuotettu NADP⁺/ATP-jauhetta). Lopuksi näytettä inkuboitiin 20 minuuttia 50 °C:ssa ja sen absorbanssi määritettiin spektrofotometrillä (Shimadzu UV-1800, Shimadzu Crop., Kioto, Japani) aallonpituudella 510 nm. Kontrollinäytteenä käytettiin kitin maissitärkkelystä (tärkkelyspitoisuus 83 %) ja standardina D-glukoosistandardia (1 mg/ml).

NDF-pitoisuus (g/kg KA) määritettiin Van Soest ym. (1991) menetelmää mukaillen. Jauhettua näytettä punnittiin 0,5 g ja sekaan lisättiin 0,5 g natriumsulfiittia (erä 14E050017, VWR Chemicals, Belgia) ja 1 ml α -amylaasia (erä AN42040; Novozymes A/S, Tanska). Seosta keitettiin NDF-keittolaitteessa (Fibretherm FT 12, Gerhardt GmbH & Co. KG,

Saksa) NDF-liuoksessa yhden tunnin ajan. NDF-liuos sisälsi 18,6 g EDTA (erä 19B224102; VWR Chemicals, Belgia), 6,8 g dinatriumtetraboraattia (erä A0756508651; Merck KGaA, Saksa), 4,6 g natriumvetyfosfaattia (erä Q18CO30; Thermo Fischer, Saksa), 30 g natriumlaurylsulfiittia (erä 1906701832; J.T. Baker, Puola) ja 10 ml 2-etoksietanolia (erä S0793257718; Merck KGaA, Saksa) liuotettuna RO-veteen siten, että liuoksen kokonaistilavuus oli yksi litra. Keiton jälkeen näytettä kuivattiin yön yli 105 °C:ssa lämpökaapissa (Memmert, Memmert GmbH, Schwabach, Saksa) ja tuhkattiin neljän tunnin ajan 490 °C:ssa muhveliuunissa (Heraeus Thermicon T, Heraeus, Hanau, Saksa). Näyte punnittiin sekä kuivauksen että tuhkauksen jälkeen. NDF-pitoisuus laskettiin ilman jäännöstuhkaa.

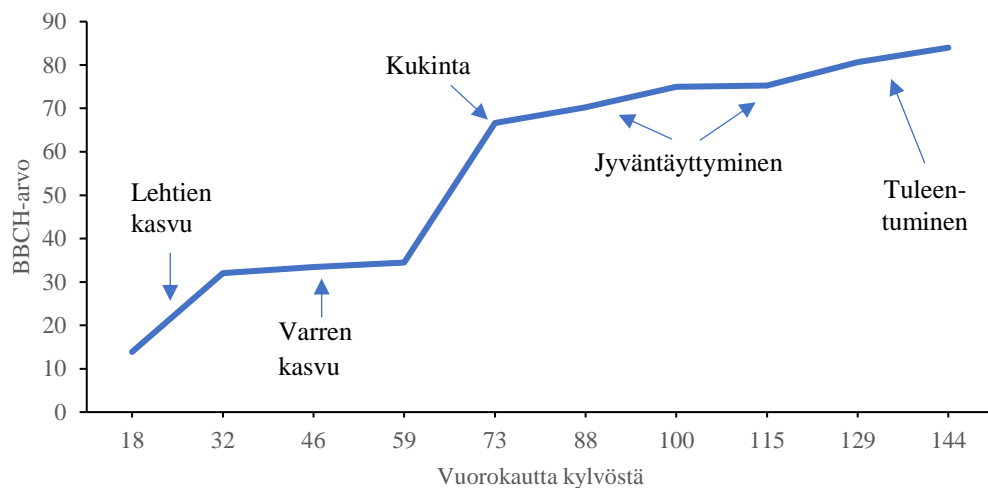
4.4 Tilastolliset analyysit

Kaikki satotulokset, kemiallisten analyysien tulokset sekä kasvien kasvua ja kehitystä kuvaavat tulokset analysoitiin SPSS-ohjelmistolla (SPSS, V. 25.0. Armonk, Ny, IBM Corp. 2019). Tuloksista laskettiin otoskeskiarvo ja keskiarvon keskivirhe (SEM), minkä jälkeen tuloksille tehtiin kaksisuuntainen varianssianalyysi. Tuloksille tehtiin post-hoc -testi (Tukey), jos lajikkeen tai korjuuajankohdan vaikutus tuloksiin oli varianssianalyysin perusteella merkitsevä ($p < 0,05$). Satotuloksille ja kemiallisten analyysien tuloksille tehtiin korrelaatioanalyysi käyttäen Pearsonin korrelaatiokerrointa.

5 TULOKSET

5.1 Kasvu ja kehitys

Kaikki maissilajikkeet taimettuivat keskimäärin kuuden vuorokauden kuluttua kylvöstä, mutta osassa ruutuja taimettuminen oli epätasaista alkukasvukauden kuivuuden ja/tai kylvöalustan epätasaisuuden vuoksi. Kasvullinen vaihe kesti keskimäärin kahdeksan viikkoa, joten maissien suvullinen kehitys alkoi heinäkuun puolivälissä (Kuva 5). Kukinta ajoittui heinäkuun viimeiselle viikolle. Kasveihin kehittyi kahdesta neljään tähkää (dataa ei esitetty) ja päätähkä kasvoi selvästi muita tähkiä suuremmaksi (Kuva 6). Jyväntäytyminen alkoi elokuun toisella viikolla (Kuva 5). Tuleentuminen eteni kokeen loppuun mennessä BBCH-kasvuasteille 83–85 saakka (Liite 1). Helsingissä oli lokakuun alussa yöpakkasia, joiden seurauksena kasvuston yhteyttävät osat paleltuivat ja alkoivat kuivua.



Kuva 5. Maissilajikkeiden keskimääräinen kasvurytmi Helsingissä kasvukauden 2019 aikana BBCH-asteikolla (Meier 2001) arvioituna.



Kuva 6. Neljä saman kasvin tähkää 123 vrk kuluttua kylvöstä. Päätähkä kasvoi huomattavasti suuremmaksi kuin muut tähkät. (Kuva: Anniina Liimatainen).

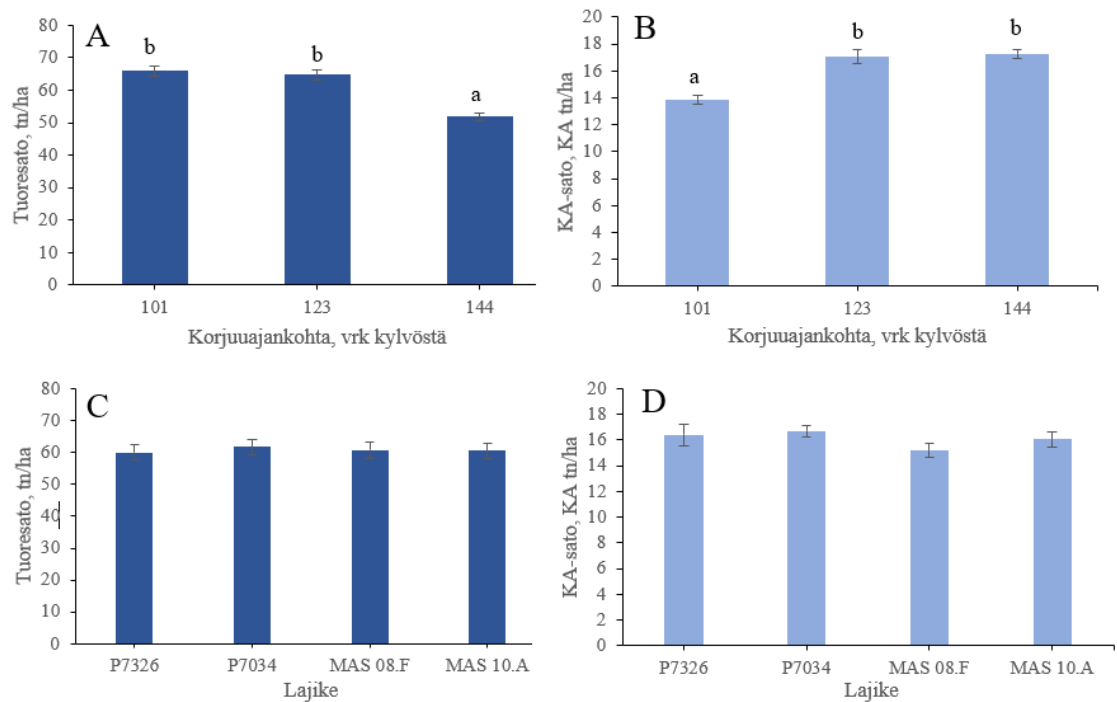
Kaikkien neljän lajikkeen kasvu- ja kehitysrytmit olivat lähes samanlaiset koko kasvu-kauden ajan. Ensimmäisellä korjuukerralla, 101 vrk kuluttua kylvöstä, kaikkien lajikkeiden tähkät olivat maitotuleentumisvaiheessa (Kuva 7). Lajike-erot olivat vähäisiä myös 123 vrk kuluttua kylvöstä, jolloin P7326, P7034 ja MAS 10.A olivat taikinatuleentumisvaiheessa. MAS 08.F:n kasvuastetta ei määritetty kyseisenä ajankohtana. P7326 ja P7034 saavuttivat jauhotuleentumisen 144 vrk kuluttua kylvöstä, kun taas MAS 08.F ja MAS 10.A olivat taikinavaiheessa.



Kuva 7. Maissin tähkien poikkileikkaukset korjuuajankohdittain ja lajikkeittain Helsingissä kasvukaudella 2019. Jyvät olivat vaaleita ja pyöristyneitä 101 vrk kuluttua kylvöstä, joten ne olivat maitotuleentumisvaiheessa. Jyvien maitoraja tuli näkyviin taikinatuleentumisvaiheessa, 123 vrk kuluttua kylvöstä, minkä lisäksi ne olivat aiempaa kiinteämpiä, sillä niihin oli kertynyt tärkkelystä. Jyvän keltainen yläosa oli kiinteää, tärkkelyspitoista endospermiä, vaalea alaosa nestemäistä endospermiä (Nielsen 2019). Viimeisellä korjuukerralla P7326:n sekä P7034:n jyvien maitoraja oli siirtynyt jyvän yläosan ja tyven puoleenväliin (jauhotuleentuminen), kun taas MAS 08.F:n ja MAS 10.A:n jyvien maitoraja oli edennyt yläreunasta noin neljänneksen (taikinatuleentuminen). Kuvat: Anniina Liimatainen.

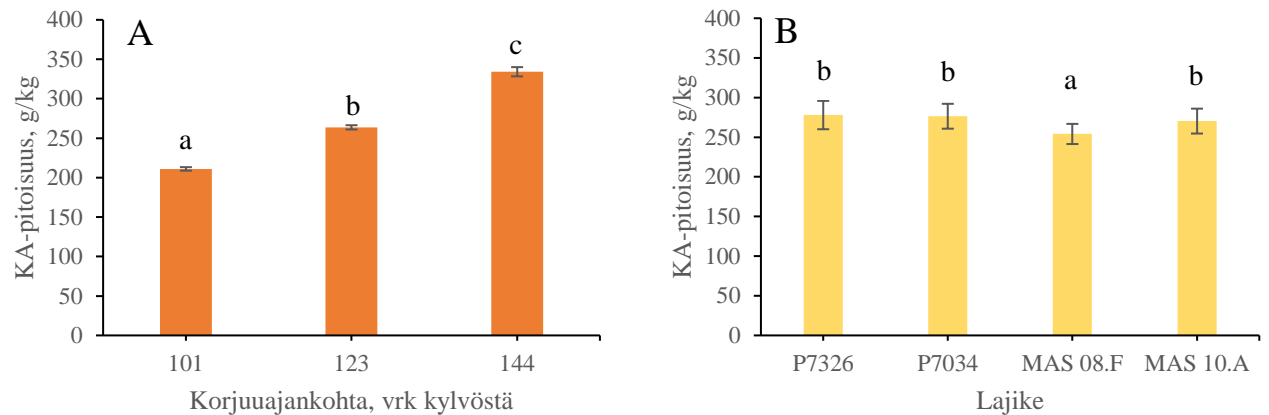
5.2 Sato ja satokomponentit

Korjuuajankohdalla ja lajikkeella ei ollut yhdysvaikutusta tuore- tai KA-satoon. Korjuuajankohta vaikutti ($p < 0,001$) tuore- ja KA-satoon, mutta lajike ei kumpaankaan. Tuoresato oli 144 vrk kuluttua kylvöstä merkitsevästi, keskimäärin 21 %, niukempi kuin 101 ja 123 vrk kuluttua kylvöstä (Kuva 8). KA-sato oli puolestaan merkitsevästi niukin 101 vrk kuluttua kylvöstä (Kuva 8). Silloin se oli keskimäärin 18 % niukempi kuin 123 ja 144 vrk kuluttua kylvöstä, jolloin ruuduilta korjattiin keskimäärin 17 KA tn/ha.



Kuva 8. Maissin tuoresato ja kuiva-ainesato kenttäkokeessa Helsingissä kasvukaudella 2019. Tulokset on esitetty korjuuajankohtien (A, B) ja lajikkeiden (C, D) keskiarvoina jana \pm keskiarvon keskivirhe, SEM. Tulokset esittävät neljän kerranteen keskiarvoja joko kolmella korjuuajankohdalla tai neljällä lajikkeella. Eri kirjaimilla merkityt keskiarvot eroavat toisistaan merkitsevästi ($p < 0,05$).

Korjuuajankohta ja lajike vaikuttivat ($p < 0,001$) sadon KA-pitoisuuteen, mutta niillä ei ollut yhdysvaikutusta. KA-pitoisuus suureni jokaisella korjuukerralla merkitsevästi ja oli suurimmillaan 144 vrk kuluttua kylvöstä, jolloin se oli keskimäärin 334 g/kg (Kuva 9). Merkitsevästi pienin KA-pitoisuus oli lajikkeella MAS 08.F, sillä sen KA-pitoisuus oli keskimäärin 8 % pienempi kuin muilla lajikkeilla.



Kuva 9. Maissirehusadon kuiva-ainepitoisuus kenttäkokeessa Helsingissä kasvukaudella 2019. Tulokset on esitetty korjuuajankohtien (A) ja lajikkeiden (B) keskiarvoina jana \pm keskiarvon keskivirhe, SEM. Tulokset esittävät neljän kerranteen keskiarvoja joko kolmella korjuuajankohdalla tai neljällä lajikkeella. Eri kirjaimilla merkityt keskiarvot eroavat toisistaan merkitsevästi ($p < 0,05$) samalla korjuukerralla.

Lajikkeella ja korjuuajankohdalla ei ollut yhdysvaikutusta maissikasvuston korkeuteen, tähkien ja lehtien sekä varren tuoremassaan, tuoremassojen suhteeseen tai kasvinosien KA-pitoisuuteen (Taulukko 1). Lajike vaikutti maissikasvuston korkeuteen. P7034 kasvusto oli merkitsevästi korkein ollen keskimäärin 12 % korkeampi kuin MAS 10.A.

Tähkien ja varren sekä lehtien tuoremassoissa oli korjuuajankohtien välisiä eroja (Taulukko 1). Tähkien tuoremassa suureni merkitsevästi, yhteensä neljänneksen, 101–123 vrk kylvöstä. Varsien ja lehtien tuoremassa pieneni merkitsevästi jokaisella korjuukerralla verrattuna edelliseen ja yhteensä noin 63 %. Korjuuajankohta ja lajike vaikuttivat kasvin tähkämässän ja varsi- sekä lehtimässän suhteeseen, sillä suhdetta kuvaava luku suureni merkitsevästi jokaisen korjuukerran välillä ja MAS 08.F:n suhdeluku oli keskimäärin 15 % pienempi kuin muilla lajikkeilla.

Tähkien ja varsien sekä lehtien KA-pitoisuuksissa oli lajikkeiden ja korjuuajankohtien välisiä eroja (Taulukko 1). Tähkien KA-pitoisuus kaksinkertaistui 101–123 vrk kuluttua kylvöstä, kun taas varsien sekä lehtien KA-pitoisuus suureni vain 20 % ja vasta 123–144

vrk kuluttua kylvöstä. MAS 08.F:n tähkät sisälsivät suhteessa vähiten kuiva-ainetta, keskimäärin 19–23 % vähemmän kuin muut lajikkeet. Pienin varren ja lehtien KA-pitoisuus oli MAS 10.A:lla ja suurin P7326:lla.

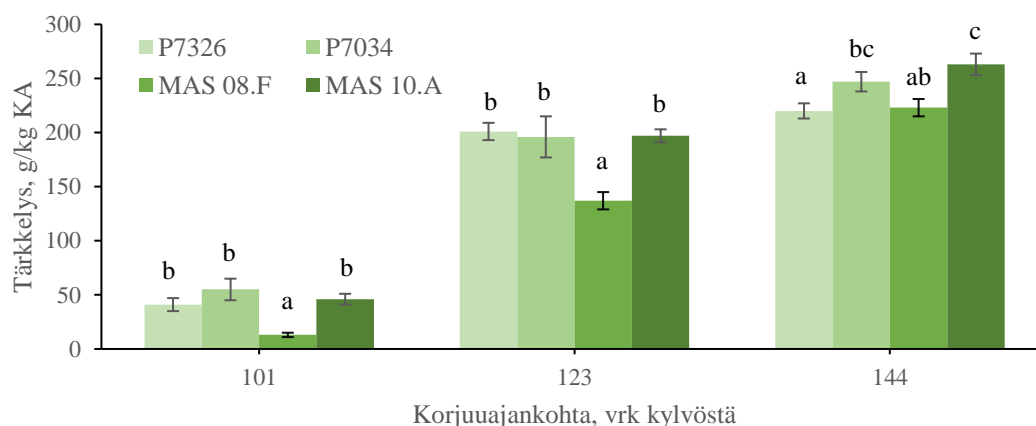
Taulukko 1. Maissin kasvuston korkeus, tähkien sekä lehtien ja varren tuoremassa ja näiden tuoremassojen suhde sekä kasvinosien kuiva-ainepitoisuudet kenttäkokeessa Helsingissä kasvukaudella 2019. Tulokset esittävät neljän kerranteen keskiarvoja joko kolmella korjuuajankohdalla tai neljällä lajikkeella. Eri kirjaimilla merkityt keskiarvot eroavat toisistaan merkitsevästi ($p < 0,05$).

	Tuoremassa, g/kasvi			Tuoremassojen suhde		Kuiva-ainepitoisuus, KA g/kg	
	Kasvuston korkeus, cm	Tähkät	Varsi ja lehdet	Tähkät: varsi ja lehdet	Tähkät	Varsi ja lehdet	
Korjuuajankohta, vrk kylvöstä							
101	258	201 ^a	580 ^c	0,3 ^a	203 ^a	197 ^a	
123	261	266 ^b	468 ^b	0,6 ^b	409 ^b	200 ^a	
144	270	270 ^b	368 ^a	0,7 ^c	418 ^b	236 ^b	
SEM	3,1	7,7	18,4	0,03	16,0	4,3	
Lajike							
P7326	264 ^{ab}	228	430	0,6 ^b	354 ^b	217 ^{ab}	
P7034	277 ^b	243	458	0,6 ^b	348 ^b	222 ^b	
MAS 08.F	266 ^{ab}	240	523	0,5 ^a	288 ^a	216 ^{ab}	
MAS 10.A	247 ^a	263	495	0,6 ^b	344 ^b	201 ^a	
SEM	3,1	7,7	18,4	0,03	15,9	4,3	
p-arvot							
Korjuuajankohta (K)	NS	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	
Lajike (L)	<0,05	NS	NS	<0,05	<0,05	<0,05	
K x L	NS	NS	NS	NS	NS	NS	

NS = ei merkitsevä, SEM = keskiarvojen keskivirhe

5.3 Rehun laatuominaisuudet

Lajike ($p < 0,001$) ja korjuuajankohta ($p < 0,001$) vaikuttivat sadon tärkkelyspitoisuuteen, minkä lisäksi niillä oli yhdysvaikutus ($p < 0,05$) (Kuva 10). Tärkkelyspitoisuus suureni merkitsevästi jokaisella korjuukerralla verrattuna sitä edeltävään korjuukertaan. Lajikkeiden välillä oli eroja jokaisena korjuuajankohtana. MAS 08.F sisälsi merkitsevästi vähemmän tärkkelystä kuin muut lajikkeet 101 ja 123 vrk kuluttua kylvöstä. P7326:n tärkkelyspitoisuus oli merkitsevästi pienin ja MAS 10.A:n suurin 144 vrk kuluttua kylvöstä. Tärkkelyspitoisuus korreloi ($p < 0,001$) positiivisesti korjuuajankohdan ja KA-sadon kanssa sekä negatiivisesti tuoresadon ja NDF-, RV- ja tuhkapitoisuuksien kanssa (Taulukko 2).



Kuva 10. Maissirehusadon tärkkelyspitoisuus Helsingissä kasvukaudella 2019. Tulokset on esitetty lajikkeiden keskiarvoina eri korjuuajankohtina, jana \pm keskiarvon keskivirhe, SEM. Tulokset esittävät neljän kerranteen keskiarvoja kolmella korjuuajankohdalla ja neljällä lajikkeella. Eri kirjaimilla merkityt keskiarvot eroavat toisistaan merkitsevästi ($p < 0,05$) samalla korjuukerralla.

Taulukko 2. Maissin korjuukertojen, sadon ja tuhka-, raakavalkuais-, neutraalidetergenttikuitu- ja tärkkelyspitoisuuksien väliset korrelaatiokertoimet ja niiden merkitsevyydet. Tulokset esittävät neljän kerranteen keskiarvoja kolmella korjuuajankohdalla ja neljällä lajikkeella.

	Kor- juuajan- kohta	Tuore- sato	KA-sato	Tuhka	RV	NDF	Tärkke- lys
Korjuuajan- kohta	1	-0,69**	0,64**	-0,45**	-0,36*	-0,36*	0,93**
Tuoresato		1	0,05	0,22	0,15	-0,16	-0,52**
KA-sato			1	-0,36*	-0,42**	-0,57**	0,75**
Tuhka				1	0,16	0,63**	-0,52**
RV					1	0,40**	-0,49**
NDF						1	-0,62**
Tärkkelys							1

*, **; $p < 0,05$, $p < 0,001$

KA = kuiva-aine, NDF = neutraalidetergenttikuitu, RV = raakavalkuainen

NDF-, RV- ja tuhkapitoisuuksissa oli lajikkeiden ja korjuuajankohtien välisiä eroja, mutta lajikkeella ja korjuuajankohdalla ei ollut yhdysvaikutusta (Taulukko 3). NDF-, RV- ja tuhkapitoisuuksien väliset korrelaatiot olivat positiivisia, mutta niiden korrelaatiot korjuuajankohdan, KA-sadon ja tärkkelyspitoisuuden kanssa olivat negatiivisia (Taulukko 2).

Sato, joka korjattiin 123 vrk kuluttua kylvöstä, sisälsi merkitsevästi vähemmän NDF:ää, raakavalkuaista ja tuhkaa kuin sato, joka korjattiin 101 vrk kuluttua kylvöstä (Taulukko 3). NDF-pitoisuus kuitenkin suureni uudelleen 123–144 vrk kuluttua kylvöstä. Suurin NDF-pitoisuus oli MAS 08.F:lla, sillä se sisälsi merkitsevästi, keskimäärin 5–7 %, enemmän NDF:ää kuin P7326 ja MAS 10.A. P7034:n RV-pitoisuus oli 4–10 % pienempi mutta tuhkapitoisuus 9–13 % suurempi kuin muilla lajikkeilla.

Taulukko 3. Maissirehusadon neutraalidetergenttikuitu-, raakavalkuais- ja tuhkapitoisuudet kenttäkokeessa Helsingissä kasvukaudella 2019. Tulokset esittävät neljän kerranteen keskiarvoja joko kolmella korjuuajankohdalla tai neljällä lajikkeella. Eri kirjaimilla merkityt keskiarvot eroavat toisistaan merkitsevästi ($p < 0,05$).

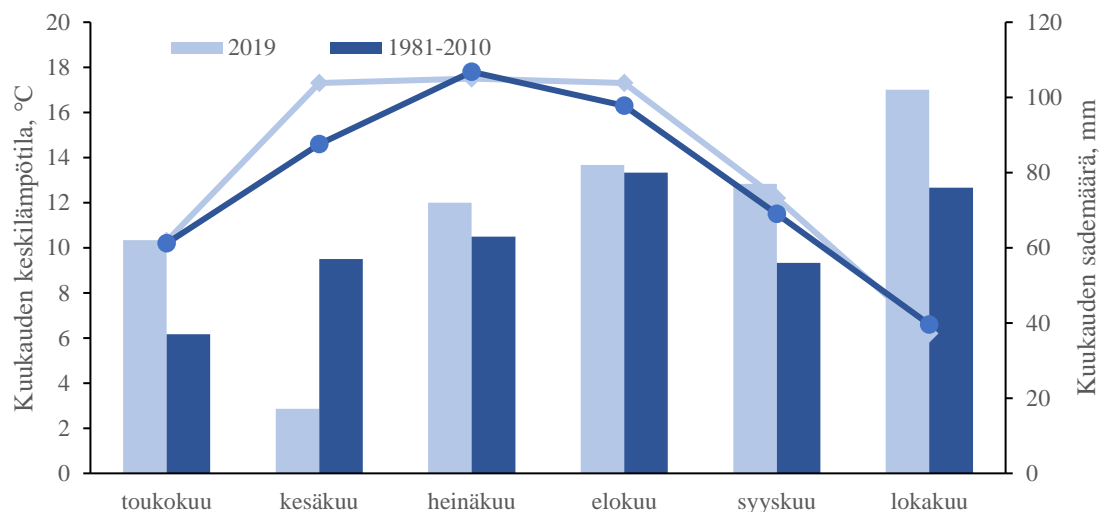
	NDF	Raakavalkuainen g/kg KA	Tuhka
Korjuuajankohta, vrk kylvöstä			
101	486 ^c	79 ^b	50 ^b
123	429 ^a	73 ^a	46 ^a
144	459 ^b	75 ^a	46 ^a
SEM	4,6	0,8	0,6
Lajike			
P7326	453 ^a	77 ^b	45 ^a
P7034	458 ^{ab}	72 ^a	51 ^b
MAS 08.F	476 ^b	79 ^{bc}	47 ^a
MAS 10.A	445 ^a	75 ^{abc}	46 ^a
SEM	4,6	0,8	0,6
p-arvot			
Korjuuajankohta (K)	0,001	0,001	<0,001
Lajike (L)	<0,001	<0,05	0,001
K x L	NS	NS	NS

NDF = neutraalidetergenttikuitu, KA = kuiva-aine, NS = ei merkitsevä, SEM = keskiarvojen keskivirhe

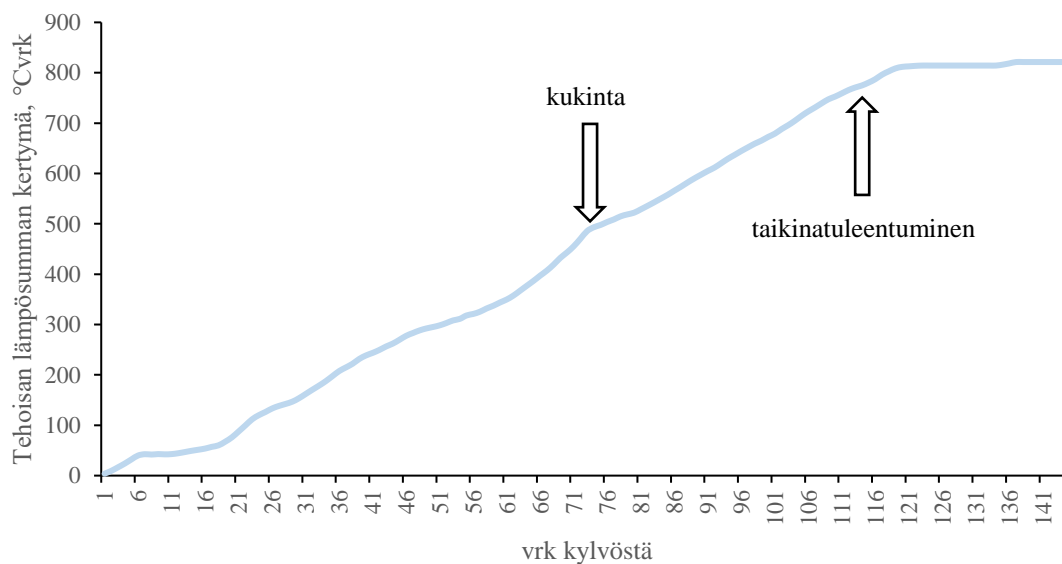
5.4 Sääolosuhteet

Terminen kasvukausi (vuorokauden keskilämpötila yli +5°C) 2019 alkoi Uudellamaalla 16. huhtikuuta ja päättyi 26. lokakuuta (Ilmatieteen laitos 2019). Se kesti yhteensä 193 vrk, mikä vastaa Uudenmaan vuosien 1981–2010 keskiarvoa >185 vrk (Ilmatieteen laitos 2019). Lämpötila oli touko-syyskuussa vuosien 1981–2010 keskiarvoa korkeampi ja etenkin kesäkuussa oli poikkeuksellisen lämmintä (Kuva 11). Maissin kasvuvaatimuksen täyttävää lämpösummaa (vuorokauden keskilämpötila yli +10°C) kertyi kasvukauden aikana 821 °Cvrk (Kuva 12). Yöpakkasia ei esiintynyt kasvukauden alussa, mutta niitä esiintyi kasvukauden loppuvaiheessa, 5.–6. lokakuuta. Sadanta oli keskiarvoa runsaampaa touko-, syys- ja lokakuussa,

mutta kesäkuussa Uudellamaalla kärsittiin kuivuudesta. Kesäkuun sadesumma Helsingissä oli 70 % pienempi kuin keskimäärin vuosina 1981–2010.



Kuva 11. Kuukausittainen keskilämpötila (viiva) ja sademäärä (pylväät) Helsingin Kaisaniemessä touko-lokakuussa 2019 ja touko-lokakuussa vuosien 1981–2010 keskiarvona (Ilmatieteen laitos 2019).



Kuva 12. Tehoisan lämpösumman (°Cvrk) kertymä Helsingin Kaisaniemessä 17.5–8.10.2019 (Ilmatieteen laitos 2019) maissin lämpötilavaatimuksen $> +10^{\circ}\text{C}$ mukaisesti (Struik 1983, FAO 2019). Kuvaan on merkitty nuolin kukintaan (493 °Cvrk) ja taikinatuleentumiseen (775 °Cvrk) vaaditut lämpösummat.

6 TULOSTEN TARKASTELU

6.1 Sato ja korjuuajankohta

Ensimmäisellä korjuukerralla, 101 vrk kuluttua kylvöstä, KA-sato oli keskimäärin 13,9 tn/ha. Keskimääräinen sato oli lähes yhtä runsas Seppälän ym. (2012) Suomessa tekemässä tutkimuksessa, jossa korjattiin 14–16 KA tn/ha sato 108 vrk kylvön jälkeen. Toisella korjuukerralla, 123 vrk kylvöstä, maissit olivat taikinatuleentumisvaiheessa ja KA-sato oli keskimäärin 17 tn/ha. Keskimääräinen sato oli lähes yhtä runsas kuin Hettan ym. (2012) Ruotsissa tehdyssä tutkimuksessa, jossa korjattiin taikinavaiheessa keskimäärin 16,4 KA tn/ha. Mussadiq ym. (2012) saavuttivat Ruotsissa 128 vrk kuluttua kylvöstä 12,4 KA tn/ha sadon, johon verrattuna tässä tutkimuksessa 123 vrk kuluttua kylvöstä korjattu KA-sato oli melko runsas. Kolmannen korjuukerran (144 vrk kuluttua kylvöstä) KA-sato oli keskimäärin 17 tn/ha, joten se oli hieman niukempi kuin Epien ym. (2018) Suomessa 143 vrk kuluttua kylvöstä korjaama, keskimäärin 20 KA tn/ha sato. Tämän tutkimuksen keskimääräinen KA-sato oli siten verrattavissa muihin pohjoismaisiin, myös Helsinkiä etelämmässä tehtyjen, kenttäkokeiden tuloksiin. Tämä johtunee kasvukauden 2019 lämpimyydestä.

KA-sato oli sitä runsaampi, mitä myöhäisempi korjuuajankohta oli, kuten myös Mussadiqin ym. (2012) tutkimuksessa. KA-sadon runsastuminen selittyy Lynchin ym. (2012) ja Opsin ym. (2013) mukaan sillä, että kasvuston KA-pitoisuus suurenee tähkien kehityksen edetessä. Sama pätee tämän tutkimuksen tuloksiin, sillä sadon KA-pitoisuus suureni 211 g/kg:sta (101 vrk kylvöstä) pitoisuuteen 329 g/kg (144 vrk kylvöstä), kun maissien kehitys eteni maitotuleentumisvaiheesta (lajikkeesta riippuen) taikina- tai jauhotuleentumisvaiheeseen.

Kasvuston KA-pitoisuuden suureneminen johtuu Lynchin ym. (2012) mukaan ennen kaikkea tähkien kehityksestä. Tähkien kehitys ilmeni tässä tutkimuksessa hyvin selkeästi, sillä tähkien tuoremassan suuruus suhteessa varsien ja lehtien tuoremassaan keskimäärin kaksinkertaistui 101–123 vrk kuluttua kylvöstä ja suureni merkitsevästi myös 123 – 144 vrk kuluttua kylvöstä. Myös tähkien KA-pitoisuus muuttui huomattavasti, sillä 123 vrk kuluttua kylvöstä

KA- pitoisuus oli kaksi kertaa suurempi kuin 101 vrk kuluttua kylvöstä. Tähkien KA-pitoisuus suureni eniten, kun tähkien kehitys eteni maitotuleentumisesta taikinatuleentumiseen. Tätä selittää jyvänäyttyminen, jolloin tähkään kuljetetaan varastohiilihydraatteja varresta ja yhteytystuotteita lehdistä (Palmer ym. 1973, Ruget 1993). Yhdisteitä siirretään tähkään eniten tuleentumisen alkuvaiheissa, maito- ja taikinatuleentumisvaiheissa, ja samalla maissirehun koostumus muuttuu hyvin voimakkaasti (Johnson ym. 1999).

Maissin varren ja lehtien tuoremassa oli sitä pienempi, mitä myöhäisempi korjuuajankohta oli. Pieneminen voi johtua Lynchin ym. (2012) mukaan siitä, että kasvien lehdet kuihtuivat ja irtosivat syys-lokakuussa. Lehtien irtoaminen ja lokakuun alussa pakkasten vuoksi tapahtunut vihreiden kasvinosien tuhoutuminen ja kuivuminen saattoivat vaikuttaa siihen, että keskimääräinen tuoresato oli viidenneksen niukempi 101–144 vrk kuluttua kylvöstä.

6.2 Rehun laatu koheni korjuukertojen myötä

Sadon tärkkelyspitoisuus suureni, kun tähkien kehitys eteni ja sadon KA-pitoisuus sekä tähkien KA-pitoisuus suurenivat. Myös Wiersma ym. (1993) ja Johnson ym. (1999) havaitsivat saman ilmiön. Lynchin ym. (2013) mukaan rehun KA-pitoisuuden suureneminen johtuu pääasiassa tähkän KA-pitoisuuden suurenemisesta ja Johnsonin ym. (1999) mukaan tähkiin kertyy tuleentumisen aikana tärkkelystä. Näin ollen voidaan olettaa, että tärkkelyspitoisuuden suureneminen vaikutti sadon KA-pitoisuuteen ja tähkien KA-pitoisuuteen.

Sato sisälsi 101 vrk kuluttua kylvöstä tärkkelystä keskimäärin 39 g/kg KA. Maissintähkät olivat tuolloin maitotuleentumisvaiheessa, joten tulokset vastasivat Mussadiqin (2012) maitotuleentumisvaiheessa korjattujen maissien tärkkelyspitoisuutta, joka oli keskimäärin 40 g/kg KA. Seuraavalla korjuukerralla tähkät olivat taikinatuleentumisvaiheessa ja niiden tärkkelyspitoisuus oli keskimäärin 183 g/kg KA. Pitoisuus oli hieman suurempi kuin Mussadiqin (2012) tutkimuksessa, jossa taikinatuleentunut kasvusto sisälsi tärkkelystä keskimäärin 170 g/kg KA. Viimeisenä, 144 vrk kylvön jälkeen korjattujen maissien tärkkelyspitoisuus oli keskimäärin 238 g/kg KA. Pitoisuus oli hieman suurempi kuin Suomessa 155 vrk kylvön jälkeen korjatun sadon tärkkelyspitoisuus, 213 g/kg KA (Seleiman ym. 2017).

Sadon NDF-pitoisuus pieneni (-12 %), kun maissintähkät siirtyivät maitotuleentumisesta (101 vrk kuluttua kylvöstä) taikinatuleentumiseen (123 vrk kuluttua kylvöstä), vaikka muutos olikin hieman pienempi kuin Mussadiqin (2012) tutkimuksessa (-22 %). NDF-pitoisuuden pieneneminen liittyi kasvuston kehitysvaiheeseen. Kun tähkät kehittyivät, niihin kertyi tärkkelystä ja tähkien osuus koko kasvin massasta suureni ja samalla NDF:n osuus pieneni, mikä vastaa Argillierin ym. (1995) ja Lynchin ym. (2013) havaintoja. Kehitysvaiheen vaikutus NDF-pitoisuuteen oli havaittavissa tutkittujen eri ominaisuuksien korrelaatioissa: NDF korreloi negatiivisesti korjuuajankohdan (-0,36), KA-sadon (-0,57) ja tärkkelyksen (-0,62) kanssa, mikä vastasi aiempien tutkimusten tuloksia (Lynch ym. 2012, Opsi ym. 2013, Seleiman ym. 2017). Sadon NDF-pitoisuuden pienenemiseen vaikutti myös varren ja lehtien tuoremassan pientyminen 37 %:lla 101–144 vrk kuluttua kylvöstä, sillä NDF sijaitsee pääosin kasvin varressa (Mussadiq 2012, Lynch ym. 2013).

NDF-pitoisuudet olivat lähes samansuuruisia kuin aiemmissa tutkimuksissa (Wiersma ym. 1993, Mussadiq 2012). Maitotuleentumisvaiheessa (101 vrk kuluttua kylvöstä) sato sisälsi keskimäärin 486 g/kg KA ja taikinatuleentumisvaiheessa (123 vrk kuluttua kylvöstä) 429 g/kg KA NDF:ää. Pitoisuudet olivat suurempia tai lähes yhtä suuria kuin samoissa kasvuvaiheissa korjattujen satojen NDF-pitoisuudet, 550 g/kg KA ja 430 g/kg KA (Mussadiq 2012). Taikina-/jauhotuleentumisvaiheessa (144 vrk kuluttua kylvöstä) sato sisälsi keskimäärin 459 g/kg KA NDF:ää, mikä oli lähes yhtä paljon kuin Wiersman ym. (1993) jauhotuleentuneiden maissien keskimäärin 469 g/kg KA NDF-pitoisuus.

RV- ja tuhkapitoisuudet olivat sitä pienempiä, mitä myöhäisempi korjuuajankohta oli. Tämä vastasi Lynchin ym. (2013), Opsin ym. (2013) ja Seleimanin ym. (2017) tutkimusten tuloksia. Suurimmat muutokset pitoisuuksissa tapahtuivat 101–123 vrk kuluttua kylvöstä, jolloin maissintähkien kehitys eteni maitotuleentumisesta taikinatuleentumiseen. Tuhkapitoisuuden muutokseen saattoi vaikuttaa se, että maissien varsi- ja lehtimassa sisältää suurimman osan maissin tuhkaista (Lynch ym. 2013, Epie ym. 2018). Tässä tutkimuksessa varsi- ja lehtimassa (kuten myös RV- ja tuhkapitoisuus) pieneni voimakkaasti 101–123 vrk kuluttua kylvöstä.

RV-pitoisuuden pieneminen johtui varren ja lehtien tuoremassan pienenemisestä ja tuleentumisesta, sillä Lynchin ym. (2013) ja Hettan ym. (2012) mukaan varsi ja lehdet sisältävät suuren osan maissin RV:sesta ja varren RV-pitoisuus pienenee voimakkaasti tuleentumisen edetessä.

Tuloksista voidaan päätellä, että rehun laatu oli sitä parempi, mitä myöhemmin sato korjattiin. NDF-pitoisuuden väheneminen ja vastaavasti tärkkelyspitoisuuden suureneminen kertovat siitä, että rehun sulavuus kohenee ja energiapitoisuus suurenee (Argillier ym. 1995, Hetta ym. 2012). Johnsonin ym. (1999) tutkimuksessa NDF-pitoisuuden pieneminen ja tärkkelyspitoisuuden suureneminen lisäsivät maissisäilörehun syöntiä ja lehmien maitotuotosta.

6.3 Lajikkeen aikaisuus ei vaikuttanut sadon määrään

Lajike ei vaikuttanut tuore- tai KA-satoon, joten aiemmissa tutkimuksissa (Mussadiq 2012, Seleiman ym. 2017, Epie ym. 2018) ilmenneitä lajikkeiden aikaisuudesta johtuvia eroja ei havaittu. Mussadiqin (2012) mukaan FAO-arvoltaan aikaisempi lajike tuottaa suuremman KA-sadon kuin sitä myöhäisempi lajike, kun sato korjataan aikaisin. Muissa pohjoismaisissa tutkimuksissa sato on korjattu useimmiten 120–150 vrk kuluttua kylvöstä ja myöhäisimmillään 165 vrk kuluttua kylvöstä, joten korjuuajankohdat 101, 123 ja 144 vrk kylvöstä olivat melko aikaisia (Mussadiq ym. 2012, Seleiman ym. 2017, Epie ym. 2018). Jos tulokset olisivat vastanneet Mussadiqin (2012) havaintoja, P7326:n ja MAS 08.F:n (molemmat FAO180) olisi pitänyt tuottaa runsaampi sato kuin lajikkeiden P7034 (FAO190) ja MAS 10.A (FAO210). Näin ei kuitenkaan tapahtunut, joten lajikkeiden väliset satoerot eivät vastanneet odotuksia. Tähän saattoi vaikuttaa se, että lajikkeiden tähkä:varsi/lehti -suhteet erosivat toisistaan (MAS 08.F:lla tähkien osuus pienempi kuin muilla lajikkeilla) sekä se, ettei lajikkeiden FAO-arvojen välillä ollut suurta eroa. Jos myöhäisimmän lajikkeen FAO-arvo olisi ollut suurempi, esimerkiksi 250, erot olisivat saattaneet tulla esiin paremmin.

Vaikka lajike ei vaikuttanut satoon, se vaikutti satokomponentteihin ja niiden KA-pitoisuuksiin. MAS 08.F sisälsi keskimäärin 7 % vähemmän kuiva-ainetta kuin muut lajikkeet. MAS

08.F sisälsi myös vähiten tähkämassaa suhteessa varsi- ja lehtimassaan ja sen tähkien KA-pitoisuus oli keskimäärin 18 % pienempi kuin muilla lajikkeilla. Voidaan siis todeta, että MAS 08.F tuotti vähiten ja pienimpiä tähkiä (dataa ei esitetty), joiden kehitys oli jäljessä muita lajikkeita, minkä vuoksi sen KA-pitoisuus oli pienin. Tulokset olivat kuitenkin täysin erilaisia kuin Hettan ym. (2012) tutkimuksessa, jossa FAO-arvoltaan pienemmät lajikkeet sisälsivät enemmän tähkämassaa kuin lajikkeet, joiden FAO-arvo oli suurempi.

Myöhäisin lajike, MAS 10.A, käyttäytyi tässä tutkimuksessa poikkeuksellisesti FAO-arvoonsa nähden. FAO-arvonsa perusteella sen KA-sadon olisi pitänyt olla niukin ja sisältää vähiten tähkämassaa ja kuiva-ainetta mutta eniten varsi- ja lehtimassaa (Argillier ym. 1995, Hetta ym. 2012, Mussadiq 2012). Tällaisia eroja ei kuitenkaan havaittu, mikä voi johtua siitä, että lajikkeiden FAO-arvojen välillä oli melko pieni ero ja myöhäisinkin korjuuaika (144 vrk kuluttua kylvöstä) oli aikainen verrattuna muihin pohjoismaissa tehtyihin kenttäkokeisiin (Mussadiq ym. 2012, Seleiman ym. 2017, Epie ym. 2018). Erot olisivat voineet tulla paremmin esille, jos olisi käytetty lajikkeita, joiden FAO-arvot olisivat esimerkiksi 180–250.

6.4. Lajike-erot rehun laadussa eivät vastanneet hypoteesia

Lajikkeiden väliset tärkkelyspitoisuuserot olivat merkitseviä, mutta MAS 08.F:n pieni tärkkelyspitoisuus 101 ja 123 vrk kuluttua kylvöstä ja MAS 10.A:n muita lajikkeita suurempi tärkkelyspitoisuus 144 vrk kuluttua kylvöstä eivät vastanneet aiemmissa tutkimuksissa (Hetta ym. 2012, Mussadiq 2012, Opsi ym. 2013) saatuja tuloksia. Ruotsissa FAO180-lajikkeen tärkkelyspitoisuus oli suurempi kuin FAO210-lajikkeella (Hetta ym. 2012, Mussadiq ym. 2012). Myös Opsi ym. (2013) havaitsivat, että sadon tärkkelyspitoisuus on sitä suurempi, mitä aikaisempi lajike on FAO-arvonsa perusteella. Jos lajikkeiden väliset tärkkelyserot olisivat vastanneet aiemmissa tutkimuksissa (Hetta ym. 2012, Mussadiq 2012, Opsi ym. 2013) saatuja tuloksia, olisi P7326:n ja MAS 08.F:n pitänyt sisältää enemmän tärkkelystä kuin P7034:n ja etenkin MAS 10.A:n. Tämä johtuu siitä, että FAO-arvojensa perusteella P7326:n ja MAS 08.F:n tähkien kehityksen ja jyvien täyttymisen olisi pitänyt olla pisimmällä, jolloin niihin olisi kertynyt eniten tärkkelystä.

MAS 08.F (FAO180) sisälsi eniten NDF:ää ja poikkesi jopa myöhäisimmästä lajikkeesta, MAS 10.A:sta. Tämä ei vastannut aiempien tutkimusten (Mussadiq ym. 2012, Opsi ym. 2013) tuloksia, joissa FAO-arvoltaan myöhäisempi lajike sisältää enemmän NDF:ää kuin FAO-arvoltaan aikaisempi lajike. Tämä johtuu siitä, että myöhäisemmän lajikkeen kehitys on jäljessä eikä tähkiin ole kertynyt yhtä paljon tärkkelystä verrattuna aikaisempaan lajikkeeseen, joten tähkien osuus kasvin massasta on pieni. Kun tähkien osuus on pieni, varren sekä lehtien osuus ja siten NDF-pitoisuus ovat suuria.

MAS 08.F:n pieneen tärkkelyspitoisuuteen ja suureen NDF-pitoisuuteen saattoi vaikuttaa se, että MAS 08.F sisälsi eniten varsi- ja lehtimassaa suhteessa tähkämassaan ja se, että sen tähkien KA-pitoisuus oli pienempi kuin muilla lajikkeilla. Tästä voidaan päätellä, että MAS 08.F:n tähkien kehitys oli jäljessä muita lajikkeita eikä sen kehitysrytmi vastannut siten sen FAO-arvoa (FAO180). Muiden lajikkeiden väliset vähäiset tärkkelys- ja NDF-pitoisuuserot johtuvat luultavasti siitä, etteivät lajike-erot tulleet esille Etelä-Suomen lyhyen kasvukauden aikana. Esimerkiksi Mussadiq ym. (2012) huomasivat, että FAO180-, FAO190- ja FAO210-lajikkeiden väleillä oli suurempia tärkkelys- ja NDF-pitoisuuseroja Ruotsin eteläosissa (Kristianstad ja Skara) tehdyissä kenttäkokeissa verrattuna kenttäkokeisiin, jotka tehtiin pohjoisemmassa, Västeråsissa. Pidemmän kasvukauden aikana maissit ehtivät kehittyä pidemmälle, jolloin voidaan havaita lajikkeiden aikaisuuden vaikutus sadon laatuun (Mussadiq ym. 2012).

Se, että P7034 sisälsi vähemmän RV:sta kuin myöhäisin lajike MAS 10.A vastasi Opsin ym. (2013) havaintoja, joiden perusteella aikaisemman RV-pitoisuus on pienempi. Toisaalta lajikkeiden P7034 ero sitä aikaisempiin lajikkeisiin P7326 ja MAS 08.F ei ole Opsin ym. (2013) havaintojen mukainen, joten RV-pitoisuuserot saattavat johtua jostain muusta kuin lajikkeen aikaisuudesta. P7034:n suuri tuhkapitoisuus saattoi puolestaan johtua siitä, että sen runsaasti tuhkaa sisältävän varsi- ja lehtimassan KA-pitoisuus oli suurempi kuin muilla lajikkeilla (Epie ym. 2018).

6.5 Mahdolliset virhelähteet

Satotuloksia ja kasvustonäytteistä laskettuja tuloksia (tähkien tuoremassa, tähkämässan ja varsi -sekä lehtimässan suhde sekä tähkien KA-pitoisuus) tarkastellessa on huomioitava se, että ohikulkijat poimivat huomattavia määriä tähkiä monilta koeruuduilta elo-, syys- ja loka-kuussa. Poiminta vaikutti jossain määrin 123 ja 144 vrk kuluttua kylvöstä korjattuihin tuore- ja KA-satoihin, sadon KA-pitoisuuteen, tähkämässaan, tähkämässan ja varsi- sekä lehtimässan suhteeseen, tähkien KA-pitoisuuteen sekä rehun laatuominaisuuksiin. Lisäksi MAS 08.F:n kasvustonäytteestä tehdyt analyysit jouduttiin hylkäämään toisella korjuukerralla (123 vrk kylvöstä) epäedustavien näytteiden ja näytteenottovirheen vuoksi.

Myös kasvuolosuhteet saattoivat väärentää tuloksia. Kesäkuun poikkeuksellisen kuivuuden ja siitä johtuvan epätasaisen taimettumisen vaikutukset satotuloksiin pyrittiin minimoimaan tuloksia laskettaessa, mutta ruuduilta puuttuvien kasvien massaa ei pystytty arvioimaan täydellisesti. Lisäksi yöpakkaset juuri ennen viimeistä korjuukertaa saattoivat vaikuttaa sadon määrään ja laatuun, ja lajikkeet saattoivat reagoida siihen keskenään eri tavoin.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Hypoteesit korjuuajankohdan vaikutuksesta sadon määrään ja laatuun sekä lajikkeen vaikutuksesta sadon laatuun toteutuivat. Kun korjuuajankohta on myöhäisempi, KA-sato on runsaampi ja tähkien tuoremassa, kasvuston KA-pitoisuus ja sadon tärkkelyspitoisuus suurempia, mutta sadon NDF-, RV- ja tuhkapitoisuudet pienempiä. Lajike vaikutti KA-sadon runsauteen sekä sadon tärkkelys-, NDF-, RV- ja tuhkapitoisuuksiin, mutta vaikutus ei johtunut ilmeisesti lajikkeiden aikaisuudesta vaan muista lajikeominaisuuksista tai kasvuolosuhteista. Hypoteesi korjuuajankohdan ja lajikkeen yhdysvaikutuksesta toteutui ainoastaan tärkkelyspitoisuuden kohdalla.

Tämän tutkimuksen perusteella Etelä-Suomessa voidaan korjata runsas ja laadukas maissisäilörehusato. Sato kannattaa korjata silloin, kun kasvusto on taikina- tai jauhotuleentumis-

vaiheessa tai pian ensimmäisten yöpakkasten jälkeen, jotta sadon laatu ei heikkenisi pakkasten vuoksi. Kaikki lajikkeet tuottivat lähes yhtä hyvin lypsykarjan ruokintaan soveltuvan sadon lukuun ottamatta lajiketta MAS 08.F, jonka sadon laatu oli tässä tutkimuksessa heikompi verrattuna muihin lajikkeisiin.

Jatkossa kannattaisi tutkia lisää lajikkeen aikaisuuden vaikutusta sadon määrään ja laatuun valitsemalla kokeisiin lajikkeita, joiden FAO-arvojen väliset erot olisivat suurempia kuin tässä tutkimuksessa (esimerkiksi FAO180–250). Näin aikaisuuden vaikutus voitaisiin saada esiin entistä paremmin, ja lajikkeiden väliset erot sekä lajikkeen aikaisuuden vaikutus voisivat tulla esiin.

8 KIITOKSET

Kiitokset ohjaajilleni Pirjo Mäkelälle ja Seija Jaakkolalle hyvästä ohjauksesta. Kiitokset Viikin opetus- ja tutkimustilan sekä maataloustieteiden laitoksen kenttä-, kasvihuone- sekä laboratoriohenkilökunnalle avusta ja neuvoista – ilman teitä aineiston keruu olisi vienyt paljon enemmän aikaa. Kiitän myös Lauria, joka tuki minua koko graduprojektin ajan.

9 LÄHTEET

Argillier, O., Hébert, Y. & Barrière, Y. 1995. Relationships between biomass yield, grain production, lodging susceptibility and feeding value in silage maize. *Maydica* 40: 125–136.

Bal, M.A., Coors, J.G. & Shaver, R. D. 1997. Impact of the maturity of corn for use as silage in the diets of dairy cows on intake, digestion, and milk production. *Journal of Dairy Science* 80: 2497–2503.

Berger, J. 1962. *Maize Production and the Manuring of Maize*. 1. painos. Geneve, Sveitsi: Centre d'Étude de l'Azote Geneva. 315 s.

Cheng, P.C. & Pareddy, D. R. 1994. Morphology and development of the tassel and ear. Teoksessa: Freeling, M. & Walbot, V. (toim.). *The Maize Handbook*. Springer, New York, Yhdysvallat. Ss. 37–47.

Ebeling, M. E. 1968. The Dumas method for nitrogen in feeds. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists* 51: 766–770.

Elsgaard, L., Boergesen, C.D., Olesen, J.E., Siebert, S., Ewert, F., Peltonen-Sainio, P., Rötter, R.P. & Skjelvåg, A.O. 2012. Shifts in comparative advantages for maize, oat and wheat cropping under climate change in Europe. *Food Additives & Contaminants* 29: 1541–1526.

Epie, K.E., Artigas, O.M., Santanen, A., Mäkelä, P.S.A. & Stoddard, F.L. 2018. Cultivating forage maize for biomass and bioenergy in a sub-boreal climate. *Agricultural and Food Science* 27: 190–198.

FAO. 2019. Crop information: Maize. <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/maize/en/> Food and Agriculture Organization of the United Nations. Wien, Itävalta. Viitattu 25.4.2019.

Filya, I. 2004. Nutritive value and aerobic stability of whole crop maize silage harvested at four stages of maturity. *Animal Feed Science and Technology* 116: 141–150.

Hetta, M., Mussadiq, Z., Gustavsson, A-M. & Swensson, C. 2012. Effects of hybrid and maturity on performance and nutritive characteristics of forage maize at high latitudes, estimated using the gas production technique. *Animal Feed Science and Technology* 171: 20–30.

Hunter, R.B., Tollenaar, & Brener, C.M. 1977. Effects of photoperiod and temperature on vegetative and reproductive growth of maize (*Zea mays*) hybrid. *Canadian Journal of Plant Science* 57: 1127–1133.

Ilmatieteen laitos. 2019. Kuukausitilastot. Suomen keskimääräinen lämpötila ja sademäärä kuukausittain. <https://ilmatieteenlaitos.fi/kuukausitilastot>. Viitattu 7.11.2019.

International Starch Institute. 2011. Maize. <http://www.starch.dk/isi/starch/maize.asp>. Viitattu 7.11.2019.

Jensen, C., Weisberg, M.R., Nørgaard, P. & Hvelplund, T. 2005. Effect of maize silage maturity on site of starch and NDF digestion in lactating dairy cows. *Animal Feed Science and Technology* 188: 279–294.

Lee, E.A. & Tracy, E.F. 2009. Modern maize breeding. Teoksessa: Bennetzen, J. L. & Hake, S (toim.). *Maize Handbook – Volume II: Genetics and Genomics*. Springer, New York, Yhdysvallat. Ss. 141–160.

Johnson, L., Harrison, J.H., Hunt, C., Shinnors, K., Doggett, C.G. & Sapienza, D. 1999. Nutritive value of corn silage as affected by maturity and mechanical processing: a contemporary review. *Journal of Dairy Science* 82: 2813–2825.

Krizsan, S.J., Mussadiq, Z., Hetta, M., Ramin, M., Nyholm, L. & Huhtanen, P. 2014. Predicting feeding value of forage maize hybrids harvested at different maturities and sites. *Journal of Animal and Feed Sciences* 23: 269 – 278.

Luke. 2019. Maissin viljelyala Suomessa 2000–2019, tilasto. Luonnonvarakeskus. Julkaisematon, tiedot on saatu sähköpostitse yliaktuaari Anneli Partalalta.

Lynch, J.P., O’Kiely, P. & Doyle, E.M. 2012. Yield, quality and ensilage characteristics of whole-crop maize and of the cob and stover components: harvest date and hybrid effects. *Grass and Forage Science* 67: 472–487.

Lynch, J.P., O’Kiely, P. & Doyle, E.M. 2013. Yield, nutritive value and ensilage characteristics of whole-crop maize, and of separated cob and stover components – nitrogen, harvest date and cultivar effects. *Journal of Agricultural Science* 151: 347–367.

Mason, W.K., Pritchard, K.E. & Small, D.R. 1987. Effects of early season waterlogging on maize growth and yield. *Australian Journal of Agricultural Research* 38: 27–35.

Megazyme. 2019. Total Starch Assay Procedure. https://www.megazyme.com/documents/Booklet/K-TSTA-100A_DATA.pdf. Viitattu 15.11.2019.

Meier, U (toim.). 2001. Growth Stages of Mono- and Dicotyledonous Plants - BBCH Monograph. Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry. 2. painos. 158 s.

Millner, J.P., Aver, R.V. & Hardacre, A.K. 2005. The yield and nutritive value of maize hybrids grown for silage. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 48: 101–108.

Mussadiq, Z. 2012. Performance of Forage Maize at High Latitudes. Faculty of Natural Resources and Agricultural Sciences. Swedish University of Agricultural Sciences. Umeå. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae*. Doctoral Thesis No. 2012:54. 55 s.

Mussadiq, Z., Hetta, M., Gustavsson, A-M. & Swensson, C. 2012. Plant development, agronomic performance and nutritive value of forage maize depending on hybrid and marginal site conditions at high latitudes. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science* 62: 420–430.

Nielsen, R.L. 2019. Grain Fill Stages in Corn. <http://www.king.corn/news/timeless/GrainFill.html>. Purdue University, Department of Agronomy. West Lafayette, Yhdysvallat. Viitattu 16.4.2020.

OMAFRA. 2017. Agronomy Guide for Field Crops. <http://www.omafra.gov.on.ca/english/crops/pub811/pub811.pdf>. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. Ontario, Kanada. Viitattu 7.11.2019.

Opsi, F., Fortina, R., Borreani, G., Tabavvo, E. & López, S. 2013. Influence of cultivar, sowing date and maturity at harvest on yield, digestibility, rumen fermentation kinetics and estimated feeding value of maize silage. *Journal of Agricultural Science* 151: 740–753.

Peltonen-Sainio, P., Jauhiainen, L., Hakala, K. & Ojanen, H. 2009. Climate change and prolongation of growing season: changes in regional potential for field crop production in Finland. *Agricultural and Food Science* 18: 171–190.

Peter, R., Eschholz, T.W., Stamp, P. & Liedgens, M. 2009. Early growth of flint maize landraces under cool conditions. *Crop Science* 49: 169–178.

Phipps, R.H., Sutton, J.D., Beever D.E. & Jones, A.K. 2000. The effect of crop maturity on the nutritional value of maize silage for lactating cows. *Animal Science* 71: 401–409.

Pinter, L. 1985. Ideal type of forage maize hybrid (*Zea mays* L.). Teoksessa: Dolstra, O. & Miedema, P. (toim.). *Breeding of Silage Maize. Proceedings of the 13th Congress of the Maize and Sorghum Section of EUCARPIA (European Association for Research on Plant Breeding)*). Wageningen, Alankomaat. Pudoc Wageningen. Ss. 123–130.

Pulli, S., Tigerstedt, P.M.A., Kara, O. & Brüningshaus, G. 1979. Adaptation of silage maize varieties under extreme northern growing conditions in Finland. *Journal of the Scientific Agricultural Society of Finland* 51: 197–209.

Salo, K. & Huuskonen, A. 2012. Vaihtoehtoisia rehukasveja nautakarjatilaille – kirjallisuuskatsaus. Teoksessa: Huuskonen, A. (toim.). *Nautatilojen rehukasvivalikoima laajemmaksi? Tuloksia InnoNauta -hankkeen tutkimuksista. MTT Raportti 77. Maatalouden tutkimuskeskus, Jokioinen*. Ss. 9–30.

Sage, R.F. 2004. The evolution of C4 photosynthesis. *New Phytologist* 161: 341–370.

Scanlon, M.J., & Takacs, E.M. 2009. Kernel Biology. Teoksessa: Bennetzen, J.L. & Hake, S.C (toim.). *Handbook of Maize: It's Biology*. New York, USA: Springer. Ss. 121–143.

Seleiman, M.F., Selim, S., Jaakkola, S. & Mäkelä, P.S.A. 2017. Chemical composition and in vitro digestibility of whole-crop maize fertilized with synthetic fertilizer or digestate and harvested at two maturity stages in Boreal growing conditions. *Agricultural and Food Science* 26: 47–55.

Seppälä, M., Pyykkönen, V., Laine, A. & Rintala, J. Methane production from maize in Finland – Screening for different maize varieties and plant parts. *Biomass and Bioenergy* 46: 282–290.

Stamp, P. 1985. Chilling stress in maize. Teoksessa: Dolstra, O. & Miedema, P. (toim.). *Breeding of Silage Maize. Proceedings of the 13th Congress of the Maize and Sorghum Section of EUCARPIA (European Association for Research on Plant Breeding)*. Wageningen, Alankomaat. Ss. 43–50.

Struik, P.C. 1983. Physiology of forage maize (*Zea mays* L.) in relation to its production and quality. Laboratory of Field Crops and Grassland Science, University of Wageningen. Väitöskirja nro. 77534. 252 s.

Van Soest, P.J., Robertson, J.B. & Lewis, B.A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science* 74: 3583–3597.

Wiersma, D.W., Carter, P.R., Albrecht, K.A. & Coors, J.G. 1993. Kernel milkline stage and corn forage yield, quality and dry matter content. *Journal of Production Agriculture* 6: 94–99.

LIITE 1: LAJIKKEIDEN KASVU- JA KEHITYSRYTMI BBCH-ASTEIKOLLA KUVATTUNA

Mittausajankohta, vrk kuluttua kylvöstä	18	32	46	59	73	88	100	115	129	144
Lajike	BBCH-aste									
P7326	14	32	34	35	67	69	75	75	81	85
P7034	14	32	34	35	67	71	75	75	82	85
MAS 08.F	14	32	33	34	67	71	75	75	-	84
MAS 10.A	14	32	33	34	67	71	75	76	82	83